

Pemanfaatan Serbuk Cangkang Telur Ayam Sebagai Adsorben Logam Berat Kadmium (Cd) pada Limbah Cair Industri Batik Jetis Sidoarjo

The Utilization of Chicken Egg Shell Powder as Adsorbent Cadmium in Liquid Waste of Jetis Batik Industry, Sidoarjo

Vania Maharani*, Sunu Kuntjoro, Novita Kartika Indah
Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Surabaya
*e-mail: vaniamaharani2@gmail.com

ABSTRAK

Limbah cair yang dihasilkan oleh industri batik dapat menyebabkan pencemaran lingkungan karena mengandung logam berat. Limbah cair batik Jetis Sidoarjo mengandung Cd sebesar 0,041 ppm dan telah melampaui batas baku mutu Cd dalam perairan menurut PP Nomor 82 Tahun 2001 yaitu sebesar 0,01 ppm. Cangkang telur ayam mengandung kalsium karbonat yang dapat digunakan sebagai bahan adsorben logam Cd. Penelitian ini bertujuan untuk mendeskripsikan pengaruh serbuk cangkang telur ayam sebagai adsorben logam Cd dan untuk mendeskripsikan perbedaan konsentrasi serbuk cangkang telur ayam terhadap persentase penurunan kadar Cd. Kadar logam Cd dianalisis menggunakan metode AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*). Penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan satu faktor perlakuan yaitu konsentrasi serbuk cangkang telur (10.000 mg/L, 20.000 mg/L, 30.000 mg/L, 40.000 mg/L) dan 6 kali pengulangan sehingga didapatkan 24 unit penelitian. Metode analisis data menggunakan anava satu arah dilanjutkan uji Duncan untuk mengetahui pengaruh perbedaan antar konsentrasi serbuk cangkang telur ayam terhadap penurunan kadar Cd. Hasil penelitian menunjukkan adanya pengaruh serbuk cangkang telur ayam sebagai adsorben logam Cd dan perbedaan konsentrasi serbuk cangkang telur berpengaruh secara nyata terhadap penurunan kadar Cd.

Kata kunci: kadmium; adsorben; limbah cair batik; cangkang telur ayam

ABSTRACT

Liquid waste generated by Batik industry can cause environmental pollution because it contains heavy metals. Jetis Sidoarjo batik liquid waste containing Cd of 0.041 ppm, those levels have exceeded the quality standard of Cd in the waters according to Government Regulation number 82 of 2001 in the amount of 0.01 ppm. Chicken egg shells containing calcium carbonate that can be used as adsorbent material assay Cd. This research aimed to determine the effect of eggshell powder as Cd metal adsorbent and to know the concentration of chicken egg shell powder to the percentage decrease in the levels of Cd. Cd metal content was analyzed using AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*) methode. This research used completely randomized design with one treatment factor, there is the concentration of powder eggshell (10,000 mg/L to 20,000 mg/L to 30,000 mg/L to 40,000 mg/L) and 6 repetitions to obtain 24 units research. Data were analyzed using one-way ANOVA followed Duncan test to determine the effect of the difference between the concentration of chicken egg shell powder to the decrease in the levels of Cd. The results concentration of chicken egg shell powder as adsorbent and egg shell powder concentration differences significantly affect the decrease in the levels of Cd.

Key words: cadmium; adsorbent; batik liquid waste; chicken egg shell

PENDAHULUAN

Salah satu warisan Indonesia adalah batik yang saat ini masih terus dilestarikan. UNESCO telah mengakui upaya pelestarian tersebut, sehingga memberikan dorongan kepada warga Indonesia untuk terus mengembangkan produksi batik di setiap daerah. Menurut Riwayati dkk. (2014) produksi batik dimulai dengan tahap menggambar dengan canting, pemalaman, pewarnaan, dan terakhir tahap

penyempurnaan. Pada tahap pewarnaan batik menghasilkan limbah cair yang menyebabkan pencemaran lingkungan khususnya perairan, sebab pada proses tersebut menggunakan zat pewarna yang merupakan senyawa *organic non-biodegradable* (Suprihatin, 2014). Kandungan limbah cair batik menurut Kep. Gubernur Kepala DIY tahun 1998 yaitu logam berat, salah satunya adalah kadmium.

Kadmium (Cd) adalah logam berat yang memiliki efek toksik yaitu gangguan kardiovaskular, hipertensi, dan dalam jangka panjang akan mengganggu fungsi kerja ginjal (Sudarwin, 2008). Selain itu menurut Parizek (1957) kadmium dapat menyebabkan kerusakan akut pada testis, kerusakan epitel seminiferus, dan jaringan interstitial. Kadmium digunakan untuk zat warna pada pembuatan batik. Contoh jenis kadmium yang digunakan sebagai pigmen pewarnaan batik yaitu *cadmium red lithopone* dan *cadmium yellow lithopone* (Gettens dan Stout, 2012). Pada uji pendahuluan diketahui kandungan Cd dalam limbah cair batik Jetis sebesar 1,333 ppm, kadar tersebut telah melebihi batas baku mutu menurut PP No. 82 tahun 2001 sehingga perlu tindakan untuk mengurangi kadar Cd tersebut yaitu dengan menggunakan adsorben untuk mengadsorpsi logam Cd pada limbah cair batik.

Penelitian ini menggunakan serbuk dari cangkang telur ayam sebagai adsorben, karena kandungan kalsium karbonat yang tinggi pada cangkang telur ayam sebesar 94% (Johari, 2004) dapat digunakan untuk mengadsorpsi logam Cd. Penelitian oleh Iriany dan Anugerah (2015) menunjukkan bahwa kalsium karbonat yang terkandung dalam cangkang kerang bulu dapat mengadsorpsi logam Pb dan Cd. Selain sebagai adsorben logam Cd, cangkang telur ayam juga dapat digunakan sebagai adsorben Fe. Pada penelitian oleh Asip dkk. (2008) efektifitas cangkang telur ayam dalam mengadsorpsi logam Fe yaitu sebesar 99,82%.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menguji pengaruh serbuk cangkang telur ayam sebagai adsorben logam Cd dan untuk menguji pengaruh perbedaan konsentrasi serbuk cangkang telur ayam terhadap persentase penurunan kadar Cd.

BAHAN DAN METODE

Alat dan bahan yang digunakan yaitu cangkang telur ayam, limbah cair batik, kertas whatman 42, kertas saring, *Atomic Absorbtion Spectrophotometer*, ayakan 140 mesh, *magnetic stirrer*, oven, termometer, pH pen, pompa *vacuum*, tanur. Penelitian eksperimental ini dilakukan pada bulan Mei-Juni 2016 di Laboratorium Ekologi FMIPA Unesa. Limbah cair batik didapatkan dari industri batik di kawasan Jetis Sidoarjo. Cangkang telur yang digunakan berasal dari ayam ras petelur (broiler). Terdapat tujuh tahapan dalam penelitian, tahap pertama yaitu pembuatan

serbuk cangkang telur ayam dengan cara mencuci bersih cangkang telur lalu dikeringkan dalam oven dengan suhu 110°C selama satu jam. Setelah kering, cangkang telur ditumbuk halus kemudian diayak dengan ukuran 140 mesh (Anugerah dan Iriany, 2015).

Tahap kedua adalah kalsinasi serbuk cangkang telur guna mendapatkan kandungan kalsium karbonat. Tahap ini diawali dengan memasukkan serbuk cangkang telur dalam cawan porselen sebelum dimasukkan dalam tanur. Proses kalsinasi serbuk cangkang telur dalam tanur dilakukan pada suhu 500°C selama 2 jam (Charlena dkk., 2012). Tahap ketiga adalah analisis kadar Cd limbah cair batik sebelum perlakuan (kadar Cd awal) dengan menggunakan AAS, sebelumnya data fisik meliputi suhu dan pH limbah cair batik dihitung sebagai data awal.

Tahap keempat adalah tahap perlakuan yang diawali dengan menyiapkan limbah cair batik sebanyak 1 liter, masing-masing masing diberi perlakuan serbuk cangkang telur dengan kombinasi konsentrasi serbuk cangkang telur yaitu 10.000 mg/l; 20.000 mg/l; 30.000 mg/l; dan 40.000 mg/l. Tiap unit penelitian diaduk dengan kecepatan pengadukan yang sama yaitu 200 rpm (Charlena dkk., 2012), lama pengadukan 60 menit dan suhu pengadukan 25°C (Anugerah dan Iriany, 2015 dan Asip dkk., 2008). Tiap-tiap perlakuan dilakukan sebanyak 6 kali pengulangan sehingga didapatkan 24 unit penelitian.

Tahap kelima merupakan tahap penyaringan dengan menggunakan pompa *vacuum*, sebelumnya limbah cair batik yang selesai dilakukan tahap perlakuan dihitung suhu dan pH sebagai data perhitungan fisik akhir. Penyaringan pertama menggunakan kertas saring, kemudian penyaringan kedua menggunakan kertas Whatman 42. Setelah itu lanjut pada tahap keenam yaitu analisis kadar Cd akhir dengan menggunakan AAS. Tahap terakhir yaitu tahap perhitungan persentase penurunan kadar Cd pada limbah cair batik dengan rumus sebagai berikut.

$$\% \text{ penurunan} = \frac{\text{kadar Cd sebelum perlakuan} - \text{kadar Cd sesudah perlakuan}}{\text{kadar Cd sebelum perlakuan}} \times 100\%$$

Data yang diperoleh adalah nilai akhir kadar Cd pada limbah cair batik yang telah dilarutkan dengan serbuk cangkang telur ayam dalam berbagai konsentrasi yang berbeda-beda. Untuk mengetahui pengaruh penambahan serbuk cangkang telur ayam sebagai adsorben

dalam penurunan Cd pada limbah cair batik dilakukan uji normalitas, kemudian dianalisis menggunakan uji statistik Analisis Varian (Anava) satu arah. dilanjut uji Duncan untuk mengetahui pengaruh perbedaan antar konsentrasi serbuk cangkang telur terhadap persentase penurunan kadar Cd pada limbah cair batik.

HASIL

Tabel 1 menunjukkan hasil penelitian yang telah dilakukan, berupa kadar Cd pada limbah cair batik sebelum dan sesudah perlakuan beserta persentase penurunan kadar Cd. Telah diketahui bahwa terdapat pengaruh pada kadar Cd limbah cair batik setelah perlakuan, yaitu terjadi penurunan kadar Cd setelah perlakuan. Pada hasil analisis kadar Cd didapatkan rata-rata kadar Cd akhir dengan perlakuan konsentrasi 0 mg/L, 10.000 mg/L, 20.000 mg/L, 30.000 mg/L, dan 40.000 mg/L berturut-turut adalah 0,041 ppm, 0,031 ppm, 0,027 ppm, 0,026 ppm, dan 0,023 ppm dengan nilai standar deviasi (\pm) yang menunjukkan nilai keseragaman data.

Berdasarkan uji anava satu arah diperoleh F_{hitung} lebih besar dari F_{tabel} ($26,758 > 2,759$) dan taraf signifikansi $0,00 < 0,05$, dengan demikian H_0 ditolak dan dapat dilanjut dengan uji Duncan. Pada hasil uji Anava diketahui bahwa terdapat pengaruh serbuk cangkang telur ayam terhadap persentase penurunan kadar Cd limbah cair batik (Tabel 1).

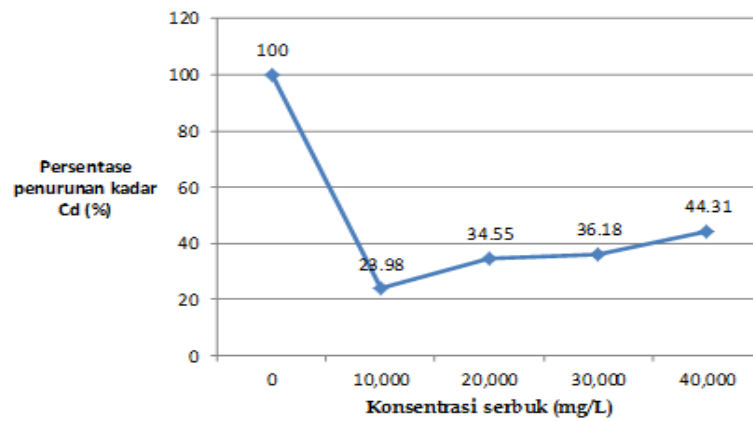
Perhitungan persentase penurunan kadar Cd menunjukkan adanya pengaruh serbuk

cangkang telur berbagai konsentrasi terhadap persentase penurunan kadar Cd. Pada Tabel 1 menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi serbuk cangkang telur maka semakin tinggi pula persentase penurunan kadar Cd. Berdasarkan perhitungan statistik diketahui bahwa perbedaan konsentrasi serbuk cangkang telur berpengaruh secara nyata terhadap persentase penurunan. Berikut ini merupakan grafik yang menunjukkan persentase penurunan kadar Cd pada limbah cair batik setelah perlakuan berbagai konsentrasi serbuk cangkang telur, grafik tersebut tersaji dalam Gambar 1.

Sementara itu, berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, didapatkan nilai suhu dan pH awal sebelum perlakuan pada limbah cair batik yaitu 30°C dan 6,4. Setelah perlakuan berbagai konsentrasi serbuk cangkang telur terjadi perubahan nilai pH dan suhu pada limbah cair batik, perubahan nilai tersebut diiringi dengan penurunan kadar Cd pada limbah cair batik. Pada Tabel 2 diketahui bahwa terjadi peningkatan pH dan perubahan suhu pada limbah cair batik setelah perlakuan. Peningkatan nilai pH tertinggi terjadi pada perlakuan konsentrasi 10.000 mg/L, dengan rerata pH 7,5. Perubahan suhu yang terjadi cenderung stabil, dan tidak mengalami perubahan suhu secara drastis. Rerata suhu tertinggi terjadi pada perlakuan konsentrasi 30.000 mg/L yaitu sebesar 30,7°C, sedangkan rerata suhu terendah terjadi pada perlakuan konsentrasi 40.000 mg/L yaitu sebesar 29,9°C.

Tabel 1. Penurunan kadar Cd limbah cair batik setelah perlakuan serbuk cangkang telur ayam dalam berbagai konsentrasi

Konsentrasi serbuk cangkang telur (mg/L)	Kadar logam Cd		Persentase penurunan kadar Cd \pm SD (%)
	Kadar Cd awal (ppm)	Rerata kadar Cd akhir \pm SD (ppm)	
0		0,041 \pm 0,00	100,00 \pm 0,00 ^c
10.000		0,031 \pm 0,005	23,98 \pm 13,39 ^b
20.000	0,041	0,027 \pm 0,007	34,55 \pm 19,35 ^{ab}
30.000		0,026 \pm 0,005	36,22 \pm 12,85 ^{ab}
40.000		0,023 \pm 0,007	44,31 \pm 17,13 ^a



Gambar 1. Hubungan antara konsentrasi serbuk cangkang telur dengan kadar Cd pada limbah cair batik (%)

Tabel 2. Rata-rata pH dan suhu limbah cair batik sebelum dan sesudah perlakuan

Konsentrasi Serbuk Cangkang Telur (mg/L)	pH		Suhu	
	Kontrol (pH awal)	Rerata pH akhir	Suhu Awal (°C)	Rerata Suhu Akhir (°C)
10.000	6,4	7,5	30	30,1
20.000		7,4		30
30.000		7,3		30,7
40.000		7,4		29,9

PEMBAHASAN

Kadar Cd awal pada limbah cair batik sebesar 0,041 ppm telah melampaui batas baku mutu yang ditetapkan Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001 yaitu sebesar 0,01. Pemberian serbuk cangkang telur dengan berbagai kombinasi konsentrasi diharapkan mampu mengurangi kadar Cd pada limbah cair batik. Pada Tabel 1 menunjukkan terjadinya penurunan kadar Cd setelah perlakuan, dengan demikian terdapat pengaruh serbuk cangkang telur terhadap penurunan kadar Cd limbah cair batik. Berdasarkan tabel tersebut diketahui rerata kadar Cd akhir yang paling tinggi terdapat pada pemberian konsentrasi 10.000 mg/L, sedangkan rerata kadar Cd akhir paling rendah terdapat pada pemberian konsentrasi 40.000 mg/L. Berdasarkan hasil tersebut, maka semakin tinggi konsentrasi serbuk cangkang telur maka semakin banyak pula kadar Cd yang terikat sehingga menghasilkan kadar Cd yang semakin rendah pula. Kadar Cd yang terserap pada serbuk cangkang telur akan mengalami pengendapan oleh CaCO_3 , reaksi kimia yang terjadi antara kadmium (Cd^{2+}) dengan CaCO_3 akan menghasilkan endapan kadmium karbonat (CdCO_3) dan kalsium (Ca^{2+}) (Stewart, 1989 dan Said, 2010). Seiring penambahan konsentrasi serbuk cangkang

telur maka pengikatan logam Cd pada limbah cair batik juga semakin optimal.

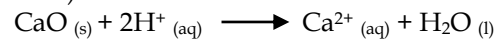
Persentase penurunan kadar Cd meningkat seiring dengan bertambahnya konsentrasi serbuk cangkang telur ayam. Persentase penurunan kadar Cd tertinggi terjadi pada perlakuan dengan konsentrasi 40.000 mg/L, sedangkan persentase penurunan paling rendah terjadi pada perlakuan dengan konsentrasi 10.000 mg/L. Dengan demikian seiring dengan penambahan konsentrasi serbuk cangkang telur maka persentase penurunan kadar Cd pada limbah cair batik juga semakin optimal atau semakin meningkat. Hal tersebut juga diperkuat dengan pernyataan oleh Anugrawati (2011) yang menyatakan bahwa massa adsorben dapat mempengaruhi terhadap proses adsorpsi, suatu adsorben akan mencapai pada titik jenuh apabila seluruh permukaan adsorben telah terisi penuh oleh adsorbat. Selain itu ukuran partikel adsorben juga mempengaruhi terhadap proses adsorpsi kadmium. Pada penelitian ini serbuk cangkang telur ayam yang digunakan sebagai adsorben memiliki ukuran 140 mesh. Tsai *et al.* (2003) menyatakan bahwa ukuran partikel adsorben yang semakin kecil akan meningkatkan daya adsorpsi. Pada penelitian ini adsorben dengan ukuran 140 mesh optimal

dalam mengadsorpsi kadmium pada limbah cair batik.

Secara statistik dengan menggunakan uji Duncan menunjukkan hasil yang signifikan antar perlakuan sehingga dapat dikatakan bahwa perbedaan konsentrasi serbuk cangkang telur ayam berpengaruh secara nyata terhadap penurunan logam berat Cd pada limbah cair batik Jetis Sidoarjo. Persentase penurunan kadar Cd paling optimal terdapat pada konsentrasi 20.000 mg/L dengan rerata kadar Cd akhir sebesar 0,027 ppm yang nilainya paling mendekati dengan ambang batas baku mutu Cd menurut Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001 yaitu sebesar 0,01 ppm. Konsentrasi serbuk cangkang telur 20.000 mg/L menunjukkan persentase penurunan kadar Cd yang paling optimal sebesar 34,55%, karena dengan konsentrasi 20.000 mg/L menunjukkan kemampuan yang sama dengan konsentrasi 30.000 mg/L dan 40.000 mg/L. Pada penelitian selanjutnya diharapkan dapat menggunakan konsentrasi yang lebih variatif dan mampu menunjukkan hasil yang lebih optimal, sehingga kadar Cd tidak melebihi ambang batas baku mutu.

Pengukuran secara fisik pada penelitian ini meliputi pH dan suhu. Suhu yang didapat setelah perlakuan cenderung stabil dan tidak mengalami perubahan suhu secara drastis jika dibandingkan dengan suhu awal sebelum perlakuan. Hal tersebut dikarenakan suhu ruang di tempat penelitian cenderung stabil sehingga tidak mempengaruhi suhu saat penelitian berlangsung. Berdasarkan hasil pengukuran pH didapatkan nilai pH awal pada limbah cair batik sebesar 6,4. Setelah perlakuan terjadi peningkatan pH, dengan rerata pH pada perlakuan konsentrasi 10.000 mg/L, 20.000 mg/L, 30.000 mg/L, dan 40.000 mg/L berturut-turut adalah 7,5; 7,4; 7,3; dan 7,4. Penambahan serbuk cangkang telur pada limbah cair batik terbukti dapat meningkatkan pH, perubahan pH setelah perlakuan cenderung netral dengan nilai kisaran 7. Hal tersebut dikarenakan kandungan serbuk cangkang telur mengandung CaCO_3 yang bersifat sebagai penetralisir pH. Pada saat proses kalsinasi, kandungan CaCO_3 atau kalsium karbonat dalam cangkang telur ayam akan diubah menjadi senyawa pengaktif yaitu CaO. Senyawa CaO tersebut akan bereaksi dengan ion H^+ yang terdapat pada limbah cair batik dan terjadi pelepasan 2 ion H^+ sehingga menghasilkan ion Ca^{2+} dan H_2O . Adapun

reaksi antara CaO dengan H^+ yaitu (Hidayah, 2015) :



Berdasarkan Prescott dan Dunn (1959) dalam Pramudyanti dkk. (2004) penambahan CaCO_3 dapat digunakan untuk pengaturan pH sehingga pH cenderung netral. Penelitian yang dilakukan oleh Pramudyanti dkk. (2004) menggunakan CaCO_3 sebagai penetralisir dari asam organik yang dihasilkan selama proses fermentasi berlangsung, dengan demikian pH optimum dapat dipertahankan.

SIMPULAN

Serbuk cangkang telur ayam berpengaruh sebagai adsorben logam berat Cd pada limbah cair industri batik Jetis Sidoarjo. Berdasarkan uji statistik, perbedaan konsentrasi serbuk cangkang telur ayam berpengaruh secara nyata terhadap penurunan logam berat Cd pada limbah cair batik Jetis Sidoarjo.

SARAN

Perlu dilakukan penelitian selanjutnya menggunakan cangkang telur unggas lain seperti bebek atau burung puyuh untuk membandingkan efektivitas adsorpsi logam berat Cd. Perlu dilakukan penelitian dengan konsentrasi serbuk cangkang telur ayam yang lebih bervariasi untuk mengetahui keefektifan dalam mengadsorpsi logam berat. Penelitian selanjutnya dapat melakukan uji toksisitas setelah perlakuan agar dapat mengetahui tingkat toksisitas pada biota air. Perlu dilakukan penelitian selanjutnya dengan menggunakan serbuk cangkang telur ayam dalam mengadsorpsi logam berat lainnya seperti Pb, Cr, dsb. Perlu dilakukan uji toksisitas pada endapan CdCO_3 .

DAFTAR PUSTAKA

- Anugrawati E, 2011. Pengaruh Suhu Pengadukan Terhadap Adsorpsi Pengotor Minyak Solar Hasil Produksi Tradisional Bojonegoro Menggunakan Clay. *Skripsi*. Tidak dipublikasikan. Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.
- Asip F, Mardhiah R, dan Husna, 2008. Uji Efektifitas Cangkang Telur dalam Mengadsorpsi Ion Fe dengan Proses Batch. *Jurnal Teknik Kimia*, 15(2): 22-26.
- Charlena, Purwaningsih H, dan Hafid R, 2012. Fosfatasi Kalsium Karbonat Cangkang Telur Ayam dan Kajiannya Pada Proses Adsorpsi Logam Timbal. *Makalah Utama*. Disampaikan

- pada Prosiding Seminar Nasional Sains Ke-2, Bogor November 2012.
- Gettens RJ, and Stout GL, 2012. *Painting Materials: A Short Encyclopaedia*. New York: Dover Publications, Inc.
- Hidayah AH, 2015. *Materi Kimia Dasar: Reaksi Kimia*. <http://www.slideshare.net/AndiHimiyatulHi/dayah/reaksi-kimia-54058533> Diunduh tanggal 16 Agustus 2016.
- Iriany, dan Anugerah A, 2015. Pemanfaatan Limbah Cangkang Kerang Bulu Sebagai Adsorben Untuk Menjerap Logam Kadmium (II) dan Timbal (II). *Jurnal Teknik Kimia*, 4(3): 40-45.
- Johari S, 2004. *Sukses Berternak Ayam Ras Petelur*. Jakarta: Agro Media Pustaka.
- Keputusan Gubernur Kepala DIY No. 281 Tahun 1998 (Baku Mutu Limbah Cair Untuk Industri Tekstil).
- Parizek J, 1957. The Destructive Effect Of Cadmium Ion on Testicular Tissue and Its Prevention By Zinc. *Journal of Endocrinology*, Vol. 15: 56-63.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 (Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air).
- Pramudyanti IR, Purwoko T, dan Pangastuti A, 2004. Pengaruh Pengaturan pH dengan CaCO_3 terhadap Produksi Asam Laktat dari Glukosa oleh *Rhizopus oryzae*. *Jurnal Bioteknologi*, 1(1): 19-24.
- Prescott MC and Dunn CG, 1959. *Industrial Microbiology*. London: Mc Graw Hill Book Company Inc.
- Riwayati I, Hartati I, Purwanto H, dan Suwardiyono. Adsorpsi Logam Berat Timbal dan Kadmium Pada Limbah Batik Menggunakan Biosorbent Pulpa Kopi Terxanthasi. *Makalah Utama*. Disampaikan pada Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi (SNATS), Yogyakarta 15 November 2014.
- Said NI, 2010. Metode Penghilangan Logam Berat (As, Cd, Cr, Ag, Cu, Pb, Ni, dan Zn) di Dalam Air Limbah Industri. *Jurnal Air Indonesia*, 6(2): 136-148.
- Stewart BA, 1989. *Advance in Soil Science: Volume 10*. New York: Springer-Verlag.
- Sudarwin, 2008. Analisa Spasial Pencemaran Logam Berat Pb dan Cd Pada Sedimen Aliran Sungai dari TPA Jatibarang Semarang. *Thesis*. Program Magister Kesehatan Lingkungan Universitas Diponegoro
- Suprihatin H, 2014. Kandungan Organik Limbah Cair Industri Batik Jetis Sidoarjo dan Alternatif Pengolahannya. *Jurnal Teknik Lingkungan*. Pusat Penelitian Lingkungan Hidup Universitas Riau
- Tsai WT, Lai CW, Hsien KJ, 2003. Effect of Particle Size of Activated Clay on The Adsorption of Paraquat From Aqueous Solution. *Journal of Colloid and Interface Science*, 263(1): 29-34.