

## REKAYASA PENGOLAHAN LIMBAH CAIR INDUSTRI KECIL BATIK YANG MENGANDUNG TEMBAGA DENGAN METODE ELEKTROKOAGULASI

Suparni Setyowati Rahayu<sup>1</sup>, Sri Astuti<sup>2</sup>, Vonny Siti Anggrahini Budiarti<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang  
email : [suparnirahayu@yahoo.co.id](mailto:suparnirahayu@yahoo.co.id)

email : [vonny\\_sosrowidjojo@yahoo.co.id](mailto:vonny_sosrowidjojo@yahoo.co.id)

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Semarang  
email : [astuti@yahoo.com](mailto:astuti@yahoo.com)

### Abstrak

*Proses produksi industri kecil batik, melepaskan air buangan yang tanpa diproses terlebih dahulu. Air buangan langsung dibuang ke badan air. Limbah cairnya mengandung warnabiru yang berasal dari logam tembaga sebesar 82,561 mg/l yang melebihi Baku Mutu air limbah batik berdasar Perda Jateng No.10 tahun 2004, yaitu kandungan maksimum tembaga dalam air limbah pada industri kecil batik dan sejenisnya 0,1 mg/l serta merupakan limbah bahan berbahaya dan beracun (B3). Oleh karena itu, teknologi inovatif yang handal dan ramah lingkungan perlu dikembangkan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengkaji secara fundamental karakteristik penyisihan logam tembaga dari limbah cair batik dengan metode elektrokoagulasi. Untuk mendapatkan pemahaman karakteristik proses secara komprehensif, penelitian ini akan difokuskan pada dua parametrik instrinsik, yaitu : (i) elektrokimia (tegangan terpasang dan dapat arus) (ii) psiko kimia fluida (waktu proses dan konsentrasi kontaminan). Pemahaman aspek teknis ini diperoleh melalui eksperimental skala laboratorium, model teoritis dan uji skala pilot. Elektrokoagulasi memiliki kemampuan untuk menyisihkan tembaga pada limbah cair pewarnaan kain batik pada industri kecil batik. Penyisihan tembaga limbah cair pewarnaan kain batik untuk konsentrasi awal 57,4913 mg/l menjadi 2,2189 mg/l dengan efisiensi sebesar 96,14%, konsentrasi awal 88,4931 mg/l menjadi 1,4078 mg/l dengan efisiensi sebesar 98,54 %, dan konsentrasi awal 111,465 mg/l menjadi 3,6668 mg/l dengan efisiensi sebesar 96,71%. Lamanya waktu proses elektrokoagulasi untuk menyisihkan tembaga pada limbah cair pewarnaan kain batik mengikuti model persamaan hubungan antara konsentrasi penyisihan tembaga dengan waktu proses elektrokoagulasi, yaitu  $Y_{(t)} = 33,765e^{-0,02t}$ ,  $Y_{(t)}$  = konsentrasi akhir tembaga (mg/l),  $t$  = waktu penyisihan tembaga (menit).*

**Kata Kunci :** tembaga, limbah batik, elektrokoagulasi

### A. PENDAHULUAN

Seiring dengan kemajuan teknologi, pemakaian logam berat pada kegiatan industri semakin diperlukan untuk peningkatan proses produksi. Salah satu sentra industri, yaitu industri batik dengan proses pewarnaan batik menggunakan pewarna yang mengandung logam berat tembaga dalam senyawa tembaga nitrat.

Salah satu sentra industri kecil batik terletak di Desa Simbangkulon, Kabupaten Pekalongan dengan kapasitas produksi sekitar 1428kodi per bulan dengan bahan baku pewarna yang mengandung tembaga sebesar 225 kg per bulan. Sesungguhnya industri batik di Indonesia memiliki potensi pasar yang sangat besar.

Dalam proses produksinya, industri kecil batik melepaskan air buangan yang tanpa diproses terlebih dahulu. Air buangan langsung dibuang di badan air. Salah satu tahap dalam proses pengolahan limbah cair batik adalah pemisahan ion-ion logam tembaga. Penggunaan bahan-bahan kimia untuk proses koagulasi, selain membutuhkan banyak bahan kimia, teknik ini akan menghasilkan banyak *sludge* (Augilar M.I., Saez, J. 2003). Pengawasan mutu efluent air

limbah dan isu lingkungan semakin ketat. Oleh karena itu, teknologi inovatif yang handal dan ramah lingkungan perlu dikembangkan (Mollah, M.Y.A., Schennach R., Parga J.P. (2001).

Teknik elektrokoagulasi ini, proses penyisihan dapat dilakukan secara kontinu tanpa perlu menggunakan bahan-bahan kimia sehingga prosesnya ramah lingkungan. Disamping itu unit elektrokoagulasi berbentuk modulan yang mudah di *scale-up* sesuai dengan jumlah umpan yang akan diproses (Chen. G.2004). Komponen biaya terbesar dari teknik elektrokoagulasi kontinu untuk penyisihan logam tembaga adalah biaya energi listrik (daya) dan biaya instalasi. Biaya listrik dan biaya instalasi bergantung pada laju transfer logam tembaga dan efisiensi arus yang pada akhirnya menentukan ukuran instalasi dan daya listrik. Evaluasi kelayakan teknologi ekonomi teknik elektrokoagulasi kontinu ditentukan oleh parameter operasi dan parameter disain (Mahmut Bayramoglu. Mehmet Kobya, 2006). Sebagai contoh, ukuran instalasi berkurang dengan meningkatnya rapat arus, sedangkan konsumsi energi akan meningkat. Kecenderungan biaya instalasi dan biaya energi yang berlawanan ini memerlukan optimasi proses. Pada kondisi dimana rapat arus tidak linear lagi terhadap regangan terpasang daya sebagian digunakan untuk proses elektrolisis air menjadi ion hidrogen dan hidrolisa. Kondisi optimum hanya dapat diperoleh melalui investigasi skala laboratorium, uji stabilitas sistem skala pilot dan simulasi kelakuan proses (Pouet, M.F. Grasmick. A., 1995).

## B. SUMBER INSPIRASI

Daerah yang mempunyai banyak industri kecil batik dengan proses pewarnaan kainnya terlebih dahulu adalah di desa Simbangkulon, Kabupaten Pekalongan. Salah satu zat warna yang digunakan di industri tersebut adalah *yellow brown* yang mengandung tembaga. Hasil uji terhadap limbah pembilasan proses pewarnaan batik di daerah tersebut menunjukkan bahwa kandungan tembaganya adalah 82,561 mg/l (Suparni Setyowati Rahayu, 2011). Air limbah tersebut langsung dibuang ke selokan karena industri tersebut belum menyediakan unit pengolahan limbah cair. Hal tersebut akan memberikan efek samping dan kontribusi terhadap pencemaran lingkungan. Kandungan tembaga limbah pembilasan proses pewarnaan batik di desa Simbangkulon, Kabupaten Pekalongan melampaui Baku Mutu Air Limbah berdasar Perda Jateng Nomor 10 Tahun 2004 yang menyebutkan bahwa kandungan maksimum tembaga bagi industri batik adalah 0,1 mg/l. Peraturan yang memuat tembaga sebagai bahan berbahaya tertuang dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 85 Tahun 1999 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun, menyebutkan bahwa tembaga dari limbah pencucian proses pewarnaan industri kecil batik termasuk limbah bahan berbahaya dan beracun dengan kode limbah D 215. Selain itu, juga menyebutkan bahwa tembaga termasuk dalam daftar pencemar yang bersifat kronis dengan kode D 5263.

Limbah proses pewarnaan batik yang dibuang ke selokan mengalir ke sungai, peruntukan sungai tersebut adalah mengairi pertanian, peternakan, dan budidaya ikan air tawar. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No 82 Tahun 2001 menyebutkan bahwa batas maksimum tembaga dalam air sungai adalah 0,03 mg/l untuk kelas II, yaitu air sungai digunakan untuk rekreasi air, budidaya ikan air tawar, peternakan, mengairi tanaman atau sejenisnya. Tembaga yang terkandung dalam tanaman dan hewan dapat dikonsumsi manusia. Menurut WHO, konsumsi maksimum tembaga bagi orang dewasa adalah 0,05-0,956 mg/kg berat badan tubuh dan bagi bayi atau anak-anak adalah 0,025-0,956 mg/kg berat badan. Tembaga yang masuk ke dalam tubuh dapat mengganggu sistem saraf dan mempengaruhi kerja ginjal.

Berdasarkan masalah tersebut di atas maka teknologi penyisihan logam berat tembaga menjadi pokok pembahasan penelitian ini sehingga akan memberikan gambaran penggunaan metode elektrokoagulasi. Metode ini dapat menyisihkan logam tembaga yaitu dengan mengakumulasi substansi logam tembaga pada permukaan aluminium sebagai alektroda maupun terjadinya endapan tembaga yang dapat dipisahkan dari larutannya (Tsai, CT, dkk, 1997).

### **C. METODE**

Ada empat aspek yang diperlukan sebelum teknik elektrokoagulasi kontinu diaplikasikan untuk penyisihan logam tembaga dalam skala industri, yaitu : (i) tipe elektroda aluminium sludge barrier selektif mobilitas logam Cu, (ii) konfigurasi reaktor yang memberikan penyisihan logam Cu, (iii) kondisi operasi yang memberikan transfer logam Cu dan efisiensi arus maksimum, (Chen, G. X, P.L. Chen Yue, 2000). Secara umum penelitian ini terdiri dari tiga kajian yaitu (i) eksperimental laboratorium baik dengan skala kecil dan skala pilot (ii) pengembangan model empirik tentang korelasi kinerja proses terhadap parameter operasi dan untuk mendapatkan tahapan penelitian yang runtut dengan hasil dan kemajuan yang direncanakan setiap tahunnya.

Penelitian eksperimen laboratorium difokuskan pada optimasi parameter operasi yang meliputi laju alir, konsentrasi umpan, tegangan terpasang dan rapat arus. Setiap pasang elektroda, satu dihubungkan dengan listrik muatan positif (+) sebagai anoda dan yang satunya lagi dihubungkan dengan muatan negatif (-) sebagai katoda. Setelah itu 8 pasang elektroda tersebut dihubungkan secara paralel dengan voltmeter dan amperemeter serta sumber listrik. Kutub positif power supply dihubungkan dengan kutub positif voltmeter kemudian dihubungkan pada anoda. Kutub negatif power supply dihubungkan dengan kutub negatif pada voltmeter. Kutub negatif voltmeter dihubungkan dengan kutub negatif amperemeter lalu dihubungkan pada katoda (Lin S.H. Peng. C.F., 1994).

Star Up dimulai dengan pengecekan peralatan dan alat ukur. Setelah keduanya dipastikan tidak ada permasalahan, kegiatan dilanjutkan dengan pengamatan distribusi aliran dan kestabilan arus listrik. Untuk star up digunakan air demin larutan Cu (NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> sebagai umpan dan konsentrat. Limbah simulasi divariasikan antara 2 – 20 liter/jam dimasukkan ke dalam reaktor yang sudah dirangkai. Sumber arus dinyalakan lalu arus diatur hingga sebesar 0,1 - 4 A, tegangan terpasang divariasikan 1 – 50 volt. Penggunaan kuat arus ini didasarkan pada penelitian (X. Chen, G. Chen, P.L. Yue, 2002) bahwa kuat arus sebesar itu optimum untuk penelitian skala laboratorium dengan luas penampang tiap elektroda aluminium 375 cm<sup>2</sup>, jumlah elektroda 8-16 pasang dengan jarak antar elektroda 0,5 inch yang disusun secara paralel. Menurut penelitian (Chen, G. X, P.L. Chen Yue, 2000) menyebutkan bahwa dengan waktu 30 menit dapat menyisihkan tembaga lebih dari 90 % sehingga ingin diketahui efisiensi penyisihan sebelum 30 menit. Waktu terlalu lama penelitian adalah 150 menit karena Sri Astuti (2012) menyebutkan bahwa waktu 120 menit bisa menyisihkan logam berat sebanyak 99%. Variasi waktu sebanyak 10 kali dengan pengulangan setiap 15 menit. Masing-masing percobaan dilakukan pengulangan 2 kali dimaksudkan agar justifikasi terhadap hasil lebih kuat.

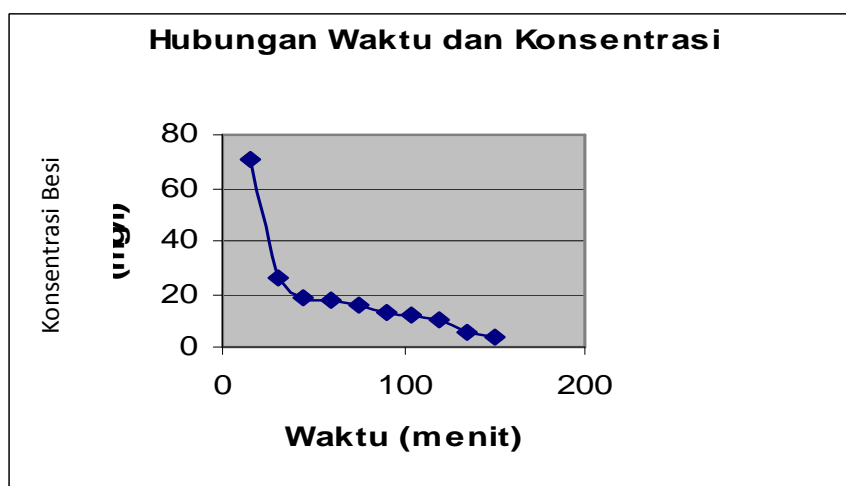
Efluen air limbah setelah proses elektrokoagulasi diambil 10 cc. Kadar tembaga dalam sampel tersebut dianalisa dengan menggunakan Spektrometer Serapan Atom untuk mengetahui jumlah tembaga yang tersisihkan. Sampel ini disimpan dalam lemari es jika tidak langsung diuji Spektrometer Serapan Atom. Saat akan diuji, sampel tersebut harus disaring terlebih dahulu. Tujuannya, agar flok-flok yang masih ada dalam sampel tidak ikut terukur.

Analisa data menggunakan analisa uji dua rataan antara konsentrasi akhir tembaga pengulangan pertama dengan konsentrasi akhir tembaga pengulangan kedua. Tes banding hasil penyisihan elektrokoagulasi pada konsentrasi awal tembaga antara pengulangan pertama dengan pengulangan kedua bertujuan untuk mengetahui ada atau tidak perbedaan yang signifikan pada rata-ratanya. Tes dilakukan dengan uji-t, asumsi variansi tidak sama.

#### D. KARYA UTAMA

Analisa statistik diawali dengan membandingkan konsentrasi tembaga hasil penyisihan elektrokoagulasi antara pengulangan pertama dengan pengulangan kedua, ini bertujuan untuk mengetahui ada atau tidak perbedaan yang signifikan pada rata-ratanya. Uji dilakukan dengan uji-t. Hasil analisa statistik menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan signifikan antara rata-rata konsentrasi akhir tembaga pengulangan pertama dengan rata-rata konsentrasi akhir tembaga pengulangan kedua. Karena tidak ada perbedaan, maka penentuan model persamaan hubungan antara waktu penyisihan tembaga dengan konsentrasi akhir tembaga setelah proses elektrokoagulasi dapat menggunakan data konsentrasi akhir tembaga pada pengulangan pertama maupun kedua.

Grafik hubungan antara waktu penyisihan tembaga dengan konsentrasi tembaga pada konsentrasi tembaga awal sebesar 57,4913 mg/l menunjukkan garis eksponensial.



Gambar 1. Grafik Hubungan Konsentrasi Akhir Tembaga dengan Waktu Penyisihan Tembaga pada Konsentrasi Awal 57,4913 mg/l.

$$\ln Y_{(t)} = \ln a + b.t$$

maka persamaan modelnya adalah :

$$\ln Y_{(t)} = 3,465 - 0,02323 t$$

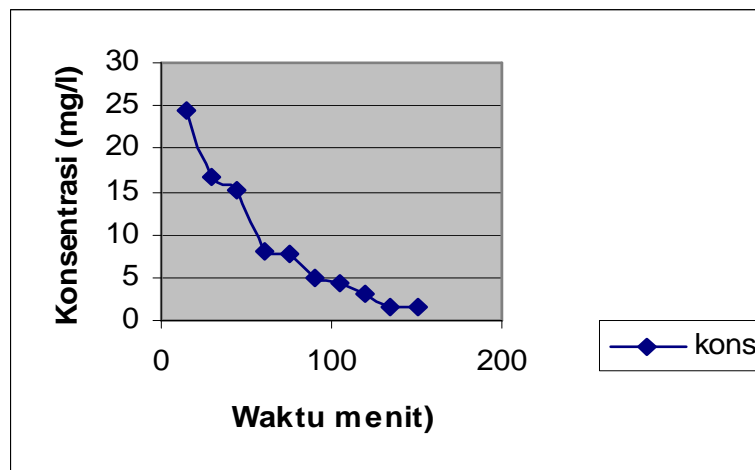
$$Y_{(t)} = 31,977e^{-0,02328 t}$$

$Y_{(t)}$  = konsentrasi akhir besi (mg/l),

t = waktu penyisihan besi dengan elektrokoagulasi (menit)

Data konsentrasi akhir tembaga dan waktu penyisihan tembaga digunakan untuk menentukan grafik hubungan antara waktu penyisihan tembaga dengan konsentrasi akhir tembaga. Grafik tersebut menunjukkan garis eksponensial. Kemudian ditentukan model persamaan eksponensial antara waktu penyisihan tembaga dengan konsentrasi akhir tembaga. Konsentrasi awal tembaga 57,4903 mg/l mempunyai nilai  $R^2$  sebesar 0,8966, artinya 89,66 % variasi konsentrasi akhir tembaga dapat disebabkan oleh hubungan linier dengan nilai waktu penyisihan tembaga dimana faktor lain tidak diperhitungkan.

Grafik hubungan antara waktu penyisihan tembaga dengan konsentrasi tembaga pada konsentrasi tembaga awal sebesar 88,4931 mg/l menunjukkan garis eksponensial.



**Gambar 2. Grafik Hubungan Konsentrasi Akhir Tembaga dengan Waktu Penyisihan Tembaga pada Konsentrasi Awal 88,4931 mg/l**

Persamaan modelnya adalah :

$$\ln Y_{(t)} = 3,5195 - 0,021 t$$

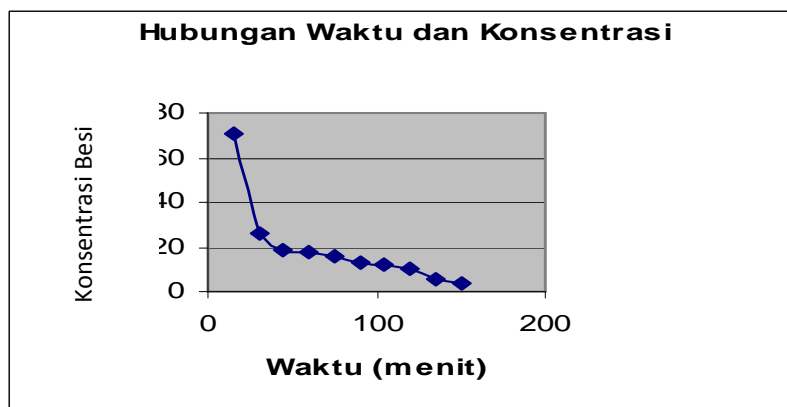
$$Y_{(t)} = 33,7659e^{-0,021 t}$$

$Y_{(t)}$  = konsentrasi akhir besi (mg/l)

t = waktu penyisihan besi (menit)

Konsentrasi awal tembaga 88,4931 mg/l mempunyai nilai  $R^2$  sebesar 0,9848, artinya 98,48 % variasi konsentrasi akhir tembaga dapat disebabkan oleh hubungan linier dengan nilai waktu penyisihan tembaga dimana faktor lain tidak diperhitungkan.

Grafik hubungan antara waktu penyisihan tembaga dengan konsentrasi tembaga pada konsentrasi tembaga awal sebesar 111,465 mg/l menunjukkan garis eksponensial



**Gambar 3. Grafik Hubungan Konsentrasi Akhir Tembaga dengan Waktu Penyisihan Tembaga pada Konsentrasi Awal 111,465 mg/l**

Persamaan modelnya adalah :

$$\ln Y_{(t)} = 4,0233 - 0,0166 \ln t$$

$$Y_{(t)} = 55,8859e^{-0,0166t}$$

$Y_{(t)}$  = konsentrasi akhir besi (mg/l)

$t$  = waktu penyisihan besi (menit)

#### E. ULASAN KARYA

Konsentrasi awal tembaga 111,465 mg/l mempunyai nilai  $R^2$  sebesar 0,8881, artinya 88,81 % variasi konsentrasi akhir tembaga dapat disebabkan oleh hubungan linier dengan nilai waktu penyisihan tembaga dimana faktor lain tidak diperhitungkan. Model persamaan yang didapatkan kemudian diuji untuk menentukan ada atau tidak hubungan antara waktu penyisihan tembaga dengan konsentrasi akhir tembaga. Uji yang dilakukan adalah uji F dan uji t. Hasil uji F dan uji t pada konsentrasi awal tembaga sebesar 57,4903 mg/l menunjukkan hasil bahwa ada hubungan antara waktu penyisihan tembaga dengan konsentrasi akhir tembaga. Hubungan tersebut adalah semakin lama waktu penyisihan tembaga maka semakin besar efisiensi penyisihan tembaga. Hasil uji F dan uji t pada konsentrasi awal tembaga sebesar 88,4931 mg/l dan konsentrasi awal tembaga sebesar 111,465 mg/l menunjukkan hasil yang sama dengan konsentrasi awal tembaga sebesar 57,4903 mg/l, yaitu ada hubungan antara waktu penyisihan tembaga dengan konsentrasi akhir tembaga. Adanya hubungan antara waktu penyisihan tembaga dengan konsentrasi akhir tembaga menunjukkan bahwa model dapat diterima dan digunakan untuk menentukan besarnya konsentrasi tembaga setelah proses elektrokoagulasi jika diketahui waktu penyisihannya atau menentukan berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk menyisihkan konsentrasi tembaga sesuai yang diharapkan. Model persamaan hubungan antara waktu penyisihan tembaga dengan konsentrasi akhir tembaga yang digunakan adalah model yang memberikan nilai  $R^2$  terbesar. Model ini dapat diaplikasikan pada limbah pewarnaan kain batik industri batik di desa Simbang Kulon, Pekalongan untuk menentukan berapa lama waktu pengolahan limbah. Berdasarkan model persamaan, waktu yang dibutuhkan untuk pengolahan limbah di industri tersebut agar memenuhi baku mutu sebesar 0,1 mg/l adalah 4 jam.

Hasil uji anova menunjukkan bahwa ada perbedaan perlakuan antara variasi konsentrasi awal tembaga sebesar 57,4903 mg/l, 88,4931 mg/l dan 111,465 mg/l serta variasi waktu berbagai perlakuan yang mempengaruhi konsentrasi akhir tembaga. Jadi, masing-masing perlakuan tiap waktu pada konsentrasi awal tembaga memberikan hasil berupa konsentrasi akhir tembaga yang berbeda.

## **F. KESIMPULAN**

Elektrokoagulasi memiliki kemampuan untuk menyisihkan tembaga pada limbah cair pewarnaan kain batik pada industri kecil batik. Penyisihan tembaga limbah cair pewarnaan kain batik untuk konsentrasi awal 57,4913 mg/l menjadi 2,2189 mg/l dengan efisiensi sebesar 96,14%, konsentrasi awal 88,4931 mg/l menjadi 1,4078 mg/l dengan efisiensi sebesar 98,54%, dan konsentrasi awal 111,465 mg/l menjadi 3,6668 mg/l dengan efisiensi sebesar 96,71 %.

Lamanya waktu proses elektrokoagulasi untuk menyisihkan tembaga pada limbah cair pewarnaan kain batik mengikuti model persamaan hubungan antara konsentrasi penyisihan tembaga dengan waktu proses elektrokoagulasi, yaitu

$$Y_{(t)} = 33,7659e^{-0,021t}$$

Keterangan :

$Y_{(t)}$  = konsentrasi akhir besi (mg/l)

t = waktu penyisihan besi (menit)

## **G. DAMPAK DAN MANFAAT KEGIATAN**

Pemanfaatan kembali tembaga yang tersisihkan akibat elektrokoagulasi di industri kecil kain batik sehingga didapatkan industri yang berwawasan lingkungan

## **H. DAFTAR PUSTAKA**

- (1) C.T. Tsai, S.T. Lin, Y.C. Shue, P.L. Su, Electrolysis of soluble organic matter in leachate from landfills, *Water Res.* 31 (1997)3073–3081.
- (2) G. Chen, Electrochemical technologies in wastewater treatment, *Sep. Purif. Technol.* 38 (2004) 11–41.
- (3) M.I. Aguilar, J. Sáez, M. Lloréns, A. Soler and J. F. Ortuño , Microscopic observation of particle reduction in slaughterhouse wastewater by coagulation–flocculation using ferric sulphate as coagulant and different coagulant aids, *Water Research*, Vol. 37, Issue 9, May 2003, Pages 2233-2241
- (4) M.F. Pouet, A. Grasmick, Urban wastewater treatment by electrocoagulation and flotation, *Water Sci. Technol.* 31 (1995) 275–283.
- (5) M.Y.A. Mollah, R. Schennach, J.P. Parga, D.L. Cocke, Electrocoagulation(EC) - science and applications, *J. Hazard. Mater.* B84 (2001) 29–41.

- (6) Mahmut Bayramoglu, Mehmet Kobya, Murat Eyvaz and Elif Senturk, Technical and economic analysis of electrocoagulation for the treatment of poultry slaughterhouse wastewater, *Separation and Purification Technology* , Vol. 51, Issue 3, October 2006, Pages 404-408
- (7) Rahayu, Suparni Setyowati. 2011. Identifikasi Logam Berat Tembaga pada Limbah Pewarnaan Kain Batik. *Majalah Info*. Edisi IV Nomer 1. Februari 2011 halaman 65-71
- (8) S.H. Lin, C.F. Peng, Treatment of textile wastewaters by electrochemical method, *Water Res.* 28 (1994) 277–876.
- (9) X. Chen, G. Chen, P.L. Yue, Electrocoagulation and electroflotation of restaurant wastewater, *J. Environ. Eng.* 126 (2000), 858–863
- (10) X. Chen, G. Chen, P.L. Yue, Novel electrode system for electroflotation of wastewater, *Environ. Sci. Technol.* 36 (2002), 778–783.