

APLIKASI TEKNOLOGI ELEKTROKOAGULASI PADA PENGOLAHAN LIMBAH INDUSTRI ELEKTROPLATING SEBAGAI UPAYA MENGHASILKAN PRODUKSI KERAJINAN LOGAM BERBASIS GREEN TECHNOLOGY

Aji Prasetyaningrum^{*)}, Yudhy Dharmawan^{)}**

Abstract

Chromium (VI) is one of the major metallic pollutants aside of arsenic, copper and nickel in plating industrial wastewater. Cr(VI) is one of toxic metal that cause serious threat to human health and the environment because its non-biodegradable. Among the technologies for removing these pollutants, electrocoagulation can be considered as an effective method. This method have some advantages such as less amount of produced sludge and high efficiency in removal of pollutants. This research intended to study the effects of type of electrode on the degree of Cr(VI) removal from wastewater of plating industry using electrocoagulation method. This laboratory research conducted with 3 types of electrode (aluminum, stainless and combination of both electrode). Synthetic chromium wastewater was prepared at the initial concentration of 100 mg L^{-1} . The process was conducted at pH 3. The electricity current was setting at 3 Ampere. The variable of time of electrocoagulation at 1 and 2 hours. After performing the process on electrochemical cells, samples analyzed by the UV-Vis spectrophotometer regarding amount of Cr(VI) metals. The results showed that aluminium was the best performance electrode at variable 2 hours with 26% reduction of Cr(VI) metal content in waste water.

Keywords: electrocoagulation, plating industry, green technology

Abstrak

Chromium (VI) adalah salah satu polutan logam utama selain arsenik, tembaga dan nikel dalam air limbah industri plating. Cr (VI) adalah salah satu logam beracun yang menyebabkan ancaman serius bagi kesehatan manusia dan lingkungan karena tidak dapat terurai. Di antara teknologi untuk menghilangkan polutan ini, elektrokoagulasi dapat dianggap sebagai metode yang cukup efektif. Metode ini memiliki beberapa keuntungan seperti jumlah lumpur yang diproduksi lebih sedikit dan menghasilkan efisiensi yang tinggi dalam menghilangkan polutan. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh jenis elektroda pada tingkat penghilangan Cr (VI) dari air limbah industri pelapisan menggunakan metode elektrokoagulasi. Penelitian laboratorium ini dilakukan dengan 3 jenis elektroda (aluminium, stainless dan kombinasi kedua elektroda). Air limbah kromium sintesis disiapkan pada konsentrasi awal 100 mg L^{-1} . Proses ini dilakukan pada pH 3. Arus listrik telah diatur pada 3 ampere. Variabel waktu elektrokoagulasi pada 1 dan 2 jam. Setelah melakukan proses pada sel elektrokimia, sampel dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis mengenai jumlah logam Cr (VI). Hasil penelitian menunjukkan bahwa aluminium merupakan elektroda kinerja terbaik pada variabel 2 jam dengan reduksi 26% kandungan logam Cr (VI) di dalam air limbah.

Kata Kunci : elektrokoagulasi, industri pelapisan logam, green technology

^{*)} Staff Pengajar Fakultas Teknik Departemen Teknik Kimia Universitas Diponegoro Semarang

^{**)} Staff Pengajar Kesehatan Masyarakat Universitas Diponegoro Semarang

Corresponding author: ajiprasetyaningrum@gmail.com

Pendahuluan

Meningkatnya kebutuhan produk logam di kota Semarang telah mendorong berkembangnya industri elektroplating atau pelapisan logam. Perkembangan industri logam yang semakin pesat selain memberikan manfaat juga menimbulkan dampak negatif dari limbah yang dihasilkan. Elektroplating atau lapis listrik atau penyepuhan merupakan salah satu proses pelapisan bahan padat dengan lapisan logam menggunakan arus listrik melalui suatu larutan elektrolit. Larutan yang digunakan untuk penyepuhan logam harus diganti setiap dua minggu karena mutu hasil menurun akibat ketahanan kehalusan permukaan dan penampakannya. Penggantian larutan ini menyebabkan biaya produksi tinggi dan limbah elektroplating yang dihasilkan menimbulkan pencemaran karena dibuang langsung ke lingkungan. Larutan yang digunakan tersebut berupa bahan-bahan kimia yang merupakan bahan beracun dan berbahaya bagi kesehatan manusia.

Limbah dari proses elektroplating merupakan limbah logam berat yang termasuk dalam limbah B3 (Bahan Beracun Berbahaya) (Purwanto, 2005). Beberapa unsur logam yang terdapat dalam limbah cair elektroplating antara lain besi, krom, seng, nikel, mangan, dan tembaga. Hampir semua industri pengrajin logam di Kota Semarang saat ini belum memiliki pengolahan limbah yang memadai, sehingga kemungkinan pencemaran dapat terjadi terutama dari penyepuhan logam perak atau kuning.

Kuantitas limbah yang dihasilkan dalam proses elektroplating memiliki tingkat toksisitas yang berbahaya, terutama krom, nikel dan seng. Karakteristik dan tingkat toksisitas dari air limbah elektroplating bervariasi

tergantung dari kondisi operasi dan proses pelapisan serta cara pembilasan yang dilakukan. Pembuangan langsung limbah dari proses elektroplating tanpa pengolahan terlebih dahulu dapat menyebabkan pencemaran lingkungan (Environmental Protection Agency, US., 1998).

Proses elektroplating dapat menimbulkan cemaran lingkungan dalam bentuk larutan, koloid, maupun bentuk partikel lainnya (Gambar 1). Mengingat penting dan besarnya dampak yang ditimbulkan bagi lingkungan maka diperlukan suatu pengolahan terlebih dahulu sebelum *effluent* limbah tersebut dibuang ke lingkungan.



Sumber: Hasil Survey

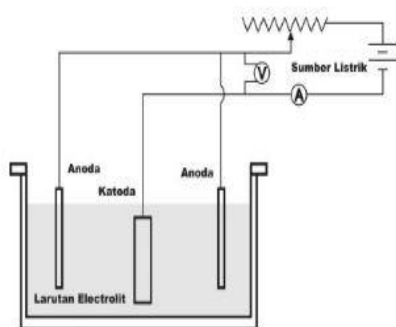
Gambar 1
Limbah Elektroplating

Prinsip Elektroplating

Prinsip elektroplating adalah pelapisan suatu logam secara elektrolisis melalui penggunaan arus listrik searah (*direct current* / DC) dan larutan kimia (elektrolit) digunakan sebagai penyuplai ion-ion logam membentuk endapan (lapisan) logam pada elektroda katoda. Terjadinya endapan karena adanya ion-ion bermuatan listrik yang berpindah secara terus menerus dari suatu elektroda melalui larutan elektrolit. Proses elektroplating mencakup empat hal, yaitu : pembersihan, pembilasan, pelapisan dan proteksi setelah pelapisan. Keempat hal ini dapat dilakukan secara manual atau bisa juga menggunakan tingkat otomatisasi yang lebih tinggi (Crittenden., 2005). Oleh

karena itu perlu dilakukan perbaikan proses, mulai dari proses awal, pembersihan secara mekanis dan kimia, pada proses pelapisan pelapisan dengan menentukan kondisi operasi yang tepat dan optimum, misalnya dengan konsentrasi larutan dan tegangan listrik yang tepat. Selama proses pengendapan / pembentukan deposit, terjadi reaksi kimia pada elektroda dan elektrolit baik reaksi reduksi maupun reaksi oksidasi. Reaksi ini diharapkan berlangsung terus menerus menuju arah tertentu secara tetap.

Prinsip dasar dari pelapisan logam secara listrik ini adalah penempatan ion-ion logam yang ditambah elektron pada logam yang dilapisi. Ion-ion logam tersebut didapat dari anoda dan elektrolit yang digunakan. Anoda dihubungkan dengan kutub positif dari sumber arus listrik. Katoda dihubungkan dengan kutub negatif dari sumber arus listrik. Anoda dan katoda direndam dalam larutan elektrolit. Jika arus listrik dialirkan maka pada katoda akan terjadi endapan (pelapisan logam). Dengan adanya arus listrik yang mengalir dari sumber maka elektron dialirkan melalui elektrode positif (anoda) menuju elektrode negatif (katoda) dan dengan adanya ion-ion logam yang didapat dari elektrolit maka menghasilkan perpindahan logam yang melapisi permukaan logam lainnya. Skema proses elektroplating disajikan pada Gambar 2.



Sumber: Skema Alat pada Percobaan

Gambar 2
Skema Proses Elektroplating

Krom memiliki keunggulan sifat fisik dan mekanis yaitu: memiliki angka gesekan kecil, keras dan tahan terhadap korosi. Dalam penerapannya banyak digunakan secara luas di banyak industri meliputi bidang yaitu: kimia, farmasi, printing, minyak dan gas, danomotif. Pelapisan dengan logam krom umumnya untuk alat-alat industri yang memerlukan ketahanan goresan yang tinggi.

Metoda Analisa

Pengolahan Limbah Elektroplating

Limbah elektroplating ini adalah logam berat dalam bentuk kompleks antara lain: khrom (Cr), kobalt (Co), tembaga (Cu), nikel (Ni), seng (Zn), serta sianida (CN). Konsentrasinya masih cukup tinggi (>1000 ppm (total padatan), dengan COD 900 ppm). Debit limbah terbesar adalah dari proses pencucian logam. Jika akumulasi dalam penampungan semakin besar, maka akan terjadi intrusi kedalam air permukaan, yang dapat menimbulkan keracunan air minum dan penurunan derajat kesehatan masyarakat.

Beberapa proses penghilangan kandungan logam berat dapat dilakukan melalui proses pengolahan secara kimia seperti dengan presipitasi (pengendapan), adsorpsi (penyerapan), filtrasi (penyaringan) dan koagulasi. Elektrokoagulasi merupakan salah satu metode yang efisien dan mudah dalam pengoperasiannya untuk mengurangi kadar logam berat melalui reaksi elektrolisis dan tidak dibutuhkan penambahan koagulan kimia (Mikko V., 2012)

Prinsip kerja elektrokoagulasi flotasi adalah pelarutan logam anoda (M^{+}) yang kemudian bereaksi dengan ion hidroksil (OH^{-}) membentuk koagulan. Koagulan ini akan mengadsorpsi polutan-polutan menjadi senyawa berpartikel besar yang tidak larut yang akan terflotasi ke permukaan bak proses (Bratbyet *al.*, 2006).

Keuntungan teknologi elektrokoagulasi adalah penghematan

biaya operasi pengolahan limbah karena tidak menggunakan bahan kimia, penghematan biaya tenaga kerja, penurunan luas lahan untuk pengolahan limbah dan mengurangi keterpaparan zat pencemar dan bahan koagulan terhadap pekerja (Mollah., 2001).

Perancangan Peralatan Elektrokoagulasi

Rancang bangun peralatan elektrokoagulasi terdiri dari bak umpan (40 liter), bak proses (300 liter), dan bak filtrasi (30 liter). Jenis elektroda anoda-katoda yang dipilih adalah almunium (Al) dan besi (Fe) dan *stainless steel* yang berdimensi 25 cm x 50 cm sebanyak 4 pasang dengan jarak 2,5 cm. Tolok ukur keberhasilan program ini adalah dihasilkan baku mutu air limbah industri, sesuai dengan baku mutu air limbah elektroplating yang tertuang dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia No. 5 Tahun 2014. Peralatan elektrokoagulasi disajikan pada Gambar 4.



Sumber: Alat yang digunakan pada percobaan

Gambar 3
Rangkaian Alat Elektrokoagulasi

Keunggulan teknologi elektrokoagulasi dibandingkan dengan teknologi koagulasi secara konvensional meliputi aspek ekonomi yaitu: investasi relatif murah, perbaikan alat relatif mudah, membutuhkan energi yang rendah, biaya perawatan alat relatif murah. Proses elektrokoagulasi juga menghasilkan volume limbah yang relatif

kecil dibandingkan proses pengendapan secara konvensional. Kualitas endapan yang dihasilkan juga lebih baik karena mengandung sedikit air, endapan mengandung sedikit logam berat, dan sifat endapan lebih stabil (Mansouri., 2011). Efisiensi proses elektrokoagulasi lebih tinggi dibandingkan dengan koagulasi secara konvensional. Proses elektrokoagulasi tidak membutuhkan tambahan bahan kimia, sehingga proses ini direkomendasikan aman bagi lingkungan (*green technology*) (Mollah et al., 2001).

Hasil dan Pembahasan

Proses Pengoperasian Unit Elektrokoagulasi

Pengoperasian proses elektrokoagulasi dilakukan di dalam reaktor berbahan dasar polimer dengan volume 40 liter. Elektroda yang digunakan adalah *stainless steel*, almunium, dan kombinasi *stainless steel*, almunium. Dimensi plat elektroda adalah 30 x 10 cm dengan ketebalan 1 mm. Reaktor dan plat elektroda dirangkai dan dilengkapi dengan pompa kapasitas 1000 liter/jam. Air limbah elektroplating diambil dari industri pengolahan logam di kawasan industri kecil (LIK) Terboyo kota Semarang.

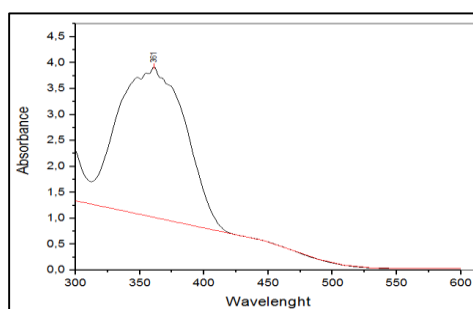
Untuk simulasi dan pembanding digunakan air limbah sintetis yang dibuat dari larutan $K_2Cr_2O_7$ (E Merck) dengan konsentrasi 100 mg/l. $K_2Cr_2O_7$ sebesar 100 mgram dilarutkan dalam 1 liter aquadest. Selama analisis dan proses elektrokoagulasi tidak dilakukan sistem kontrol terhadap pH.

Kondisi peralatan elektrokoagulasi diatur pada 3 Ampere dan pH 3. Selama proses elektrokoagulasi, endapan yang terbentuk disaring dan dipisahkan dari larutan dengan cara filtrasi.

Selanjutnya sampel limbah yang telah dilakukan *treatment*

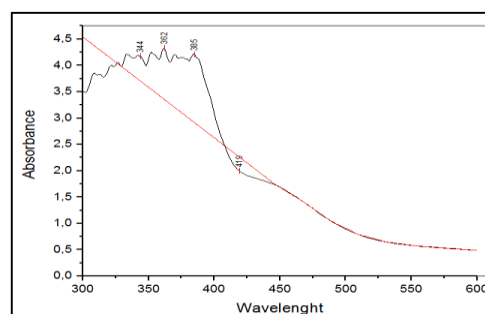
elektrokoagulasi dianalisa dengan Spektrofotometer UV-Vis (Merck Spectroquant Pharo 300), untuk mengetahui berapa konsentrasi krom yang masih tersisa setelah perlakuan elektrokoagulasi. Pada pengukuran tersebut absorbansi diatur pada 360 nm. Selanjutnya dibuat kurva standar yang digunakan untuk memprediksi konsentrasi logam krom setelah proses elektrokoagulasi.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa proses elektrokoagulasi mampu mereduksi kadar logam krom di dalam air limbah. Pada penelitian ini ditentukan panjang gelombang yang tepat untuk pengukuran sampel. Pada awalnya, sampel air limbah sintesis menguji panjang gelombang dan memperoleh panjang gelombang optimal pada 361 nm. Kemudian air limbah krom diuji dengan metode yang sama yang menghasilkan beberapa panjang gelombang, namun puncak panjang gelombang optimum adalah 362 nm. Hal ini menunjukkan bahwa limbah sintesis dan limbah krom dapat dicocokkan dalam percobaan pada panjang gelombang optimal 361 nm.



Sumber: Hasil Analisis Penyusun, 2018

Gambar 4
Panjang Gelombang Air Limbah Sintesis

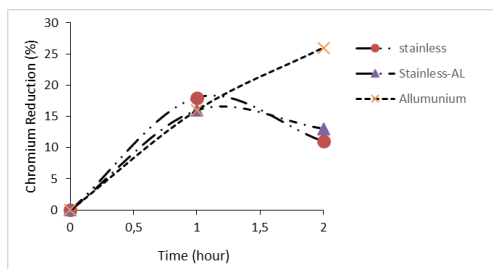


Sumber: Hasil analisis penyusun, 2018

Gambar 5
Panjang Gelombang Air Limbah Industry Plating

Panjang gelombang optimum digunakan untuk menyiapkan kurva standar air limbah absorbansi. Hasil persamaan linier adalah $y = 0,0309x + 0,052$ (y = absorbansi dan x = konsentrasi air limbah). Pengurangan air limbah krom pada berbagai elektroda ditunjukkan pada Gambar 6.

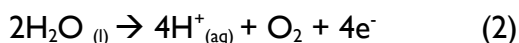
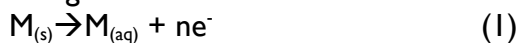
Dalam penelitian ini, menggunakan pelat baja tahan karat karena mudah ditemukan dan merupakan sisa limbah dari bahan industri rumah, *stainless steel* yang mengandung sekitar 70% besi. Aluminium digunakan karena merupakan logam yang murah dan mudah ditemukan. Hasilnya menunjukkan bahwa selama 1 jam elektrokoagulasi, pengurangan logam Cr meningkat hingga di atas 15%. Pengurangan kromium tertinggi adalah 18% menggunakan jenis elektroda *stainless steel*. Untuk elektroda aluminium, pengurangan logam Cr meningkat dengan meningkatnya waktu elektrokoagulasi. Sementara itu, reduksi kromium mengalami penurunan selama 2 jam proses elektrokoagulasi untuk elektroda *stainless* dan kombinasi *stainless*-aluminium.



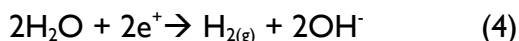
Sumber: Hasil analisis penyusun, 2018

Gambar 6
Pengurangan Air Limbah Krom
pada Berbagai Elektroda

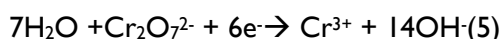
Efisiensi reduksi kromium tertinggi adalah 26% dengan elektroda aluminium selama 2 jam elektrokoagulasi. Untuk proses ini, pH disesuaikan pada kondisi asam (pH 3), Reaksi selama proses elektrokoagulasi dapat dijabarkan sebagai berikut:



- Pada Katoda



- Pengurangan Cr



Keterangan: (M = logam stainless atau aluminium)

Dimana logam terkikis dari anoda, kemudian membentuk besi hidroksida / aluminium hidroksida (Adhoum, 2004). Langkah pertama adalah pembentukan koagulan dari anoda (*stainless* dan aluminium) yang melarutkan, maka menyebabkan kontaminan dan partikulat suspensi untuk dikoagulasi (kromium) serta memecah emulsi. Agregat kemudian terbentuk dari flokulasi atau adsorpsi pada flok hidroksida logam. pH menjadi parameter penting dan efisiensi reduksi optimal juga ditemukan pada pH asam (Kashefi, 2014).

Produk aluminium dan besi yang dihidrolisis kemudian mendestabilisasi polutan yang ada dalam larutan, sehingga memungkinkan aglomerasi dan pemisahan lebih lanjut dengan pengendapan atau flotasi. Destabilisasi dicapai dengan menggunakan dua mekanisme yang berbeda, yaitu 1) Netralisasi muatan negatif koloid dengan kation produk hidrolisis bermuatan; dan 2) "sweep flocculation", di mana kotoran terperangkap dan dihilangkan dari endapan hidroksida amorf yang dihasilkan (Duan dan Gregory, 2003).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Kashefi (2014), efisiensi katoda-anoda (*stainless-stainless*) dan (aluminium-aluminium) lebih baik daripada efisiensi sistem katoda-anoda (aluminium-besi) dan katoda-anoda (besi-aluminium). Hasil penelitian tersebut memiliki kecenderungan yang sama dengan hasil penelitian ini yang menunjukkan bahwa elektroda (aluminium) dibandingkan kombinasi elektroda yang lain. Penghilangan logam berat dalam air limbah dipengaruhi oleh berbagai kondisi seperti perbedaan potensial, keasaman, waktu reaksi, jarak antara elektroda, dan jenis elektroda yang dipilih (Kashefi, et.al., 2014).

Kesimpulan

Penghapusan kromium dari air limbah industri rumah tangga dilakukan dengan menggunakan elektrokoagulasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi penyisihan yang dioptimalkan 26% dicapai menggunakan elektrodaplat aluminium. Hal ini dapat mendestabilisasi polutan yang ada dalam larutan, serta memungkinkan aglomerasi dan pemisahan lebih lanjut dari larutan dengan pengendapan atau flotasi. Namun, masih ada kemungkinan untuk meningkatkan pengurangan limbah dengan memeriksa kembali beberapa variabel lain. Untuk penelitian lebih lanjut

ada banyak variabel yang belum kita telusuri seperti konsentrasi awal, variasi tegangan & arus listrik, pH, dan kepadatan mungkin meningkatkan pengurangan air limbah kromium.

Ucapan Terimakasih

Kami mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi melalui Program HILINK 2018, UKM industri elektroplating, Bilal T. Prabowo, Muh. Fathurrazan, Fyrouzabad dan semua pihak yang membantupenelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Environmental Protection Agency, U.S. (1998). Toxicological Review of Hexavalent Chromium. CAS No.18540-29-9. Washington DC.
- Chen G. (2004). Electrochemical Technologies In Waste Water Treatment. *Journal Separation and Technology*. 38(1):11-4.
- Mikko V. (2012). Electrocoagulation In The Treatment Of Industrial Waters and Wastewaters. Espoo 2012 VTT Science 19.VTT Technical Research Centre of Finland.
- Crittenden, J.C., Trussell, R.R., Hand, D.W., Howe, K.J., Tchobanoglous, G. (2005). *Water Treatment—Principles and Design* (2nd ed.), John Wiley & Sons, USA.
- Bratby, J. (2006). Coagulation and Flocculation in Water and Wastewater Treatment, 2nd ed., IWAPublishing, UK.
- Mollah, M. Y. A., Schennach, R., Parga, J. R., and Cocke, D. L. 2001. "Electrocoagulation(EC)-Science and Applications," *Journal of HazardousMaterials*, Vol. 84, No. 1, , pp. 29-41.
- Mansouri, K., Elsaid, K., Bedoui, A., Bensalah, N. and Abdel-Wahab, A. 2011. "Application ofElectrochemicallyDissolvedIron in the Removal of TannicAcidfrom Water," *ChemicalEngineering Journal*, Vol. 172 , No. 2-3, pp. 970-976.
- Adhoum N, Monser L, Bellakhal N, and Belgaied JE. 2004. Treatment of electroplatingWastewatercontaining Cu^{2+} , Zn^{2+} and Cr(VI) by electrocoagulation. *J Hazard Mater.* 112(3):207-13.
- Kashefi, M. Asl., Moshtaghi, M., And Hassani, A.H. 2014. Efficiency Evaluation OfElectrocoagulation Process For Removal Of Chromium (Heavy Metal) From Municipal AndIndustrialWastewater. *Indian Journal of ScientificResearch*. 7 (1): 1258-1268.
- Duan J. and Gregory, J. 2003. "Coagulation by HydrolysingMetalSalts," *Advances in Colloidand Interface Science*, Vol. 100-102, pp. 475-502.
- Purwanto dan Syamsul Huda: 2005). (<http://www.menlh.go.id/usa-ha-kecil/>).

