

STUDI PENURUNAN KONSENTRASI KHROMIUM DAN TEMBAGA DALAM PENGOLAHAN LIMBAH CAIR ELEKTROPLATING ARTIFICIAL DENGAN METODE ELEKTROKOAGULASI

Dewi Masita, Ganjar Samudro dan Dwi Siwi Handayani

Program Studi Teknik Lingkungan FT UNDIP, Jl. Prof. H. Sudarto, SH Tembalang
Semarang

Email: dewimasitaenviro@gmail.com

ABSTRACT

Electroplating industries produce wastewater containing heavy metals such as copper and chromium that can pollute the environment because they are toxic and harmful to human health despite a small quantity. However, they require a wastewater treatment that could decrease heavy metal waste. Electrocoagulation is the selected method because it has high ability to treat heavy metals wastewater and the equipment is simply enough. The experiments were conducted with artificial wastewater with varying concentrations of Cr 30, 40 and 50 mg/l and Cu respectively 50, 100 and 200 mg/l. This study used an electrode type Aluminum (Al) that had distance 1.5 cm each electrode, 5 ampere current strength, sampling time every 30 minutes, time operation 360 minutes with an electrode washing every 120 minutes. From the experimental result had been obtained the best efficiency to reduce Cr and Cu occurred in minute 120 which up to 97 %. Aluminum electrode having saturation began at minute 270.

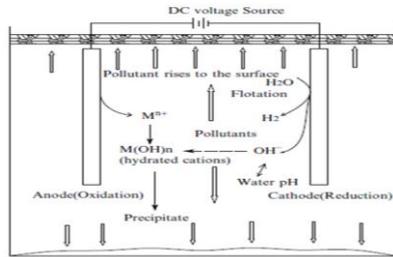
Keywords: electrocoagulation, wastewater, Cr and Cu, efficiency, electrode performance

PENDAHULUAN

Salah satu permasalahan lingkungan yang sering kita hadapi adalah permasalahan limbah terutama limbah cair. Limbah cair atau air limbah merupakan air bekas pemakaian baik dari bekas pemakaian rumah tangga, maupun dari bekas pemakaian industri. Limbah cair rumah tangga volume yang dibuang dapat mencapai 60% lebih. Sedangkan limbah cair industri sekitar 30–40 %, tetapi selalu dianggap penyumbang pencemar lingkungan yang terbesar (Bambang, 2010). Hal ini dikarenakan sifat toksik limbah cair industri yang tinggi meskipun kuantitasnya kecil dan tidak mudah dirombak atau dihancurkan oleh organisme sehingga dapat membahayakan kesehatan makhluk hidup.

Salah satu alternatif yang bisa digunakan untuk mengolah limbah cair yang mengandung logam berat yaitu adalah elektrokoagulasi. Elektrokoagulasi adalah proses koagulasi dengan menggunakan arus listrik searah melalui proses

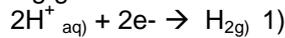
elektrokimia, yaitu dekomposisi elektrolit, dimana elektrodanya terbuat dari alumunium atau besi Purwaningsih *dalam* Husni, 2010). Arus listrik mendorong sejumlah reaksi kimia tergantung pada jenis dan sifat elektrode dan media larutan. Pada proses elektrokimia akan terjadi pelepasan Al^{3+} dari plat elektroda (anoda) sehingga membentuk flok $Al(OH)_3$ yang mampu mengikat kontaminan dan partikel-partikel dalam limbah. Dengan demikian, bentuk kontaminan akan terendapkan dan dapat dengan mudah dihilangkan dengan cara pemisahan. Proses pengendapan terjadi sebagaimana proses koagulasi, dengan koagulan terbentuk dari elektroda reaktif, yang dipicu oleh arus listrik searah. Metode elektrokoagulasi telah banyak digunakan untuk pengolahan air limbah karena peralatannya sederhana dan mudah dioperasikan bila dibandingkan dengan metode yang lain serta tidak memerlukan tambahan bahan kimia dan efisiensi pengolahan yang dihasilkan cukup tinggi.



Gambar 1.1 Proses Elektrokoagulasi

Reaksi pada Katoda

Ion H⁺ dari suatu asam akan direduksi menjadi gas hydrogen yang akan bebas sebagai gelembung-gelembung gas.



Jika larutan mengandung ion-ion logam alkali, alkali tanah, maka ion-ion ini tidak dapat direduksi dari larutan yang mengalami reduksi adalah pelarut air) dan termasuk gas hydrogen (H₂) pada katoda.

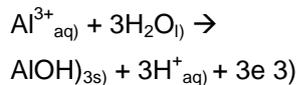


Jika larutan mengandung ion-ion logam lain, maka ion-ion logam akan direduksi menjadi logamnya.

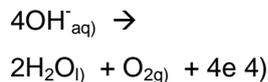


Reaksi pada Anoda

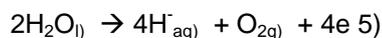
Anoda terbuat dari logam aluminium akan teroksidasi.



Ion OH⁻ dari basa akan mengalami oksidasi membentuk gas oksigen (O₂),



Anion-anion lain (SO₄⁻, SO₃⁻) tidak dapat dioksidasi dari larutan, yang akan mengalami oksidasi adalah pelarutnya (H₂O) membentuk gas oksigen (O₂) pada anoda:



Dari reaksi-reaksi yang terjadi dalam proses elektrokoagulasi, maka

pada katoda akan dihasilkan gas hydrogen dan reaksi ion logamnya. Sedang pada anoda akan dihasilkan gas halogen dan pengendapan flok-flok yang terbentuk.

Karena dalam proses elektrokoagulasi ini menghasilkan gas yang berupa gelembung-gelembung gas, maka kotoran-kotoran yang terbentuk yang ada dalam air akan terangkat ke atas permukaan air. Flok-flok yang terbentuk mempunyai ukuran yang lebih kecil, sehingga flok-flok yang terbentuk lama-kelamaan akan bertambah besar ukurannya. Adanya oksidasi polutan membuat sifat toksiknya berkurang (Holt, 2006).

Penelitian kali ini dilakukan/bertujuan untuk mengetahui efisiensi removal pengolahan elektrokoagulasi dalam mereduksi limbah cair electroplating *artificial* yang mengandung logam Cr dan Cu. Juga untuk menganalisis kinerja pemakaian plat aluminium dalam proses dengan waktu 360 menit.

METODE UJI COBA

Bahan

Bahan yang digunakan berupa limbah *artificial* yang terbuat dari larutan K₂CrO₄, CuSO₄.5H₂O dan ZnCl₂ sebagai sumber Cr dengan variasi konsentrasi masing-masing 30, 40 dan 50 mg/l), Cu & Zn dengan variasi konsentrasi masing-masing 50, 100 dan 200 mg/l).

Adapun untuk menentukan kadar Cr dan Cu itu sendiri peneliti mengacu pada Kaji Terap Teknologi Lingkungan 2002) mengenai kriteria limbah cair industri pelapisan logam pada industry kecil-menengah, dengan kandungan logam berat yang menyerupai limbah pelapisan logam yang sebenarnya limbah cair industri elektroplating).

Pembuatan limbah simulasi dilakukan dengan menyiapkan bahan larutan induk logam berat Cr, Cu dan Zn 1000 ppm dan larutan aquades. Kemudian ketiga jenis larutan tersebut dicampur sehingga diperoleh larutan dengan variasi konsentrasi yang diinginkan.

Tabel 3.1
Kandungan Limbah Cair
pada Industri Pelapisan Logam

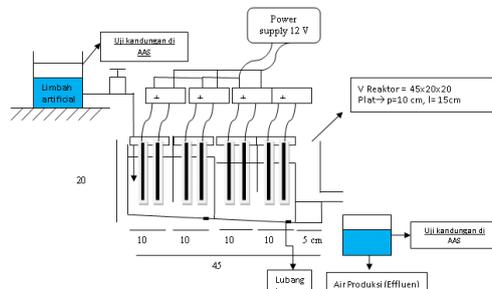
No	Parameter Air Limbah	Air Limbah Untuk Industri Kecil Menengah (ppm)	Air Limbah Untuk Industri Besar (ppm)
1	Krom Total	300-500	> 1000
2	Krom heksavalen (Cr+6)	30-50	> 100
3	Tembaga (Cu)	50-200	> 500
4	Seng (Zn)	50-200	> 500

Sumber: Kaji terap Teknologi Lingkungan di P3TL 2002

Alat

Alat yang digunakan adalah perangkat elektrokoagulasi yang terdiri dari:

1. Bak penampung menggunakan ember air berukuran 20 liter yang berfungsi untuk menampung air influen dan efluen.
2. Persiapan alat yang digunakan adalah reaktor berukuran 45 cm x 20 cm x 20 cm.



Gambar 3.1
Desain Reaktor Kontinyu

Cara Kerja

Elektrokoagulasi pada penelitian ini menggunakan reaktor kontinyu. Reaktor ini terbagi menjadi 4 sekat dimana setiap sekatnya dipasang 4 buah elektroda yang terdiri dari 2 pasang anoda dan 2 pasang katoda. Proses operasi berjalan selama 360 menit.

Percobaan tersebut dilakukan dengan menggunakan plat elektroda Al dengan menggunakan kuat arus sebesar 12 volt dan tegangan 5 ampere dan debit 25 ml/menit.

Dilakukan pencucian plat dengan sikat lembut dan aquades setelah 120 menit proses berlangsung. Kemudian pengoprasian alat kembali dijalankan dari menit ke-120 hingga menit ke-240, kemudian dilakukan pencucian plat kembali, dan dijalankan lagi sampai menit ke-360. Pengambilan sampel dilakukan tiap 30 menit.

Selanjutnya sampel air limbah diperiksa untuk diuji kadar Cr dan Cu.

HASIL UJI COBA DAN PEMBAHASAN

Data percobaan elektrokoagulasi ditampilkan dalam bentuk tabel di bawah ini:

Karakteristik Awal Air Limbah Logam Berat Artificial

Karakteristik limbah elektroplating jika dibandingkan dengan bakumutu Perda Jateng No. 5 Tahun 2012) berada diatas bakumutu dapat diliat pada tabel dibawah ini:

Tabel 4.1
Karakteristik Awal Air Limbah Artificial

No.	Parameter	Satuan	Konse ntrasi	Baku Mutu
1.	Cr	mg/l	18,11	1,0
2.	Cu	mg/l	37,24	0,6
3.	pH		6,2	6-9
4.	Suhu	°C	28	38

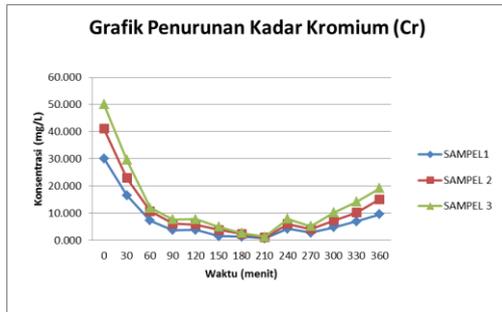
Hasil Analisis Laboratorium, 2013)

Berikut adalah tabel dan grafik penyisihan Cr dengan elektroda alumunium dengan elektrokoagulasi:

Tabel 4.2
Hasil Pengujian Konsentrasi Cr

Sampel I			Sampel II			Sampel II		
Waktu (mnt)	Konsentrasi (mg/l)	Efisiensi (%)	Waktu (mnt)	Konsentrasi (mg/l)	Efisiensi (%)	Waktu (mnt)	Konsentrasi (mg/l)	Efisiensi (%)
0	30,11	0	0	39,88	-	0	48,42	-
30	16,53	45,10	30	28,01	41,00	30	33,96	40,51
60	7,34	75,63	60	8,33	79,11	60	11,05	77,89
90	3,75	87,56	90	4,97	87,53	90	7,42	85,16
120	0,79	97,38	120	1,12	97,19	120	1,32	97,22
150	1,59	94,69	150	0,98	97,53	150	1,29	97,27
180	1,39	95,38	180	0,92	97,68	180	1,15	97,40
210	0,69	97,72	210	0,89	97,75	210	0,98	97,41
240	0,69	97,72	240	0,89	97,75	240	0,97	97,41
270	2,757	90,84	270	4,18	89,82	270	5,21	89,59
300	4,73	84,28	300	7,34	82,14	300	10,22	79,59
330	6,99	76,77	330	10,22	75,13	330	14,19	71,64
360	9,60	68,11	360	15,16	63,11	360	19,20	61,64

Sumber: Hasil Analisis Laboratorium, 2013



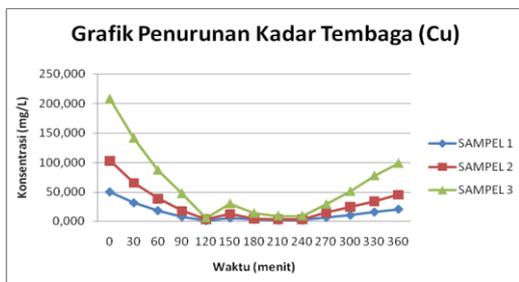
Gambar 4.1
 Grafik Penurunan Konsentrasi Cr

Berikut adalah tabel dan grafik penyisihan Cu dengan elektroda alumunium dengan elektrokoagulasi:

Tabel 4.3
 Hasil Pengujian Konsentrasi Cu

Sampel I			Sampel II			Sampel III		
Waktu (menit)	Konsentrasi (mg/l)	Efisiensi (%)	Waktu (menit)	Konsentrasi (mg/l)	Efisiensi (%)	Waktu (menit)	Konsentrasi (mg/l)	Efisiensi (%)
0	50,14	0	0	103,25	0	0	208,61	0
30	31,53	37,12	30	65,26	36,77	30	141,68	32,08
60	18,25	63,61	60	38,35	62,85	60	87,09	58,25
90	7,93	84,18	90	17,45	83,10	90	47,28	77,33
120	1,08	97,85	120	2,97	97,12	120	5,79	97,22
150	5,77	88,49	150	12,44	87,96	150	29,88	85,68
180	3,22	93,58	180	4,51	95,64	180	13,81	93,38
210	1,96	96,09	210	3,26	96,84	210	9,47	95,46
240	1,96	96,09	240	3,26	96,84	240	9,47	95,46
270	6,75	86,54	270	14,42	86,04	270	28,88	86,15
300	10,54	78,98	300	24,39	76,37	300	50,91	75,60
330	15,92	68,25	330	34,10	66,97	330	77,72	62,74
360	20,69	58,72	360	45,02	56,40	360	98,78	52,65

Sumber: Analisis Laboratorium, 2013



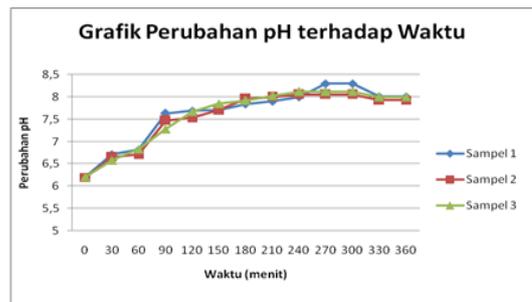
Gambar 4.2
 Grafik Penurunan Konsentrasi Cu

Berikut tabel dan grafik kondisi pH dan suhu dalam elektrokoagulasi dengan elektroda alumunium dengan pH awal yaitu 6,2

Tabel 4.2
 Perubahan pH selama Proses Elektrokoagulasi

Waktu (menit)	Sampel I	Sampel II	Sampel III
0	6,21	6,2	6,21
30	6,71	6,65	6,58
60	6,82	6,71	6,83
90	7,63	7,47	7,28
120	7,69	7,53	7,67
150	7,71	7,70	7,85
180	7,84	7,96	7,92
210	7,90	8,00	8,03
240	8,00	8,05	8,12
270	8,30	8,05	8,12
300	8,30	8,05	8,12
330	8,01	7,53	8,00
360	8,01	7,53	8,00

Sumber: Hasil Analisis Laboratorium, 2013

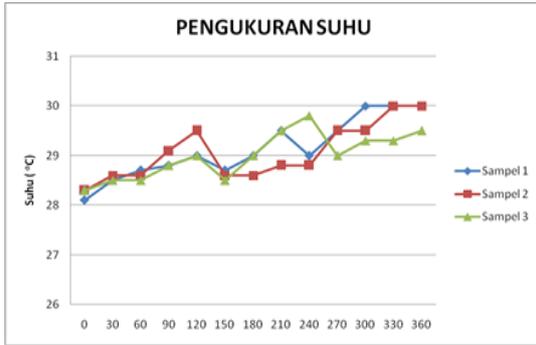


Gambar 4.3
 Perubahan pH selama Proses Elektrokoagulasi

Tabel 4.3
 Perubahan Suhu selama Proses Elektrokoagulasi

Waktu	Sampel I (°C)	Sampel II (°C)	Sampel III (°C)
0	28,1	28,3	28,3
30	28,5	28,6	28,5
60	28,7	28,6	28,5
90	28,8	29,1	28,8
120	29,0	29,5	29,0
150	28,7	28,6	28,5
180	29,0	28,6	29,0
210	29,5	28,8	29,5
240	29,0	28,8	29,8
270	29,5	29,5	29,0
300	30,0	29,5	29,3
330	30,0	30,0	29,3
360	30,0	30,0	29,5

Sumber: Hasil Analisis Laboratorium, 2012



Gambar 4.4
Perubahan Suhu selama Proses Elektrokoagulasi

Pengaruh Variasi Konsentrasi dengan Efisiensi Removal Pengolahan

Pada proses elektrokoagulasi, anoda akan meluruh membentuk kation logam yang berperan sebagai koagulan sehingga terjadi pengurangan berat anoda selama proses berlangsung, oleh karena itu anoda disebut juga elektroda korban,

Tabel 4.2 dan 4.3 merupakan tabel nilai penurunan konsentrasi parameter Cr&Cu dan besar efisiensi pengolahan tiap 30 menit. Terlihat bahwa semakin lama waktu proses elektrokoagulasi maka semakin besar pula efisiensi removal yang dihasilkan. Pada menit ke 120 dapat dilihat bahwa nilai efisiensi meningkat hingga di atas 95%. Meski efisiensinya tinggi, konsentrasi masih belum memenuhi baku mutu Perda Jateng No 5 Tahun 2012. Menurut Perda Jateng No. 5 Tahun 2012 baku mutu untuk limbah logam chromium (Cr) dalam industri elektroplating adalah 0,1 mg/l.

Grafik yang disajikan pada gambar di atas pada menit awal hingga menit 120, grafiknya berupa linier, kemudian pada menit 150 grafik meningkat. Artinya ada peningkatan konsentrasi. Meningkatnya konsentrasi ini disebabkan ketika proses elektrokoagulasi berhenti karena ada pencucian plat, debit tetap mengalir, sehingga menambah beban konsentrasi yang masuk pada reaktor. Pada saat pencucian plat, proses berhenti selama ± 30 menit, sehingga konsentrasi yang tadinya 0,789 mg/l meningkat menjadi

3,84 mg/l. Kemudian proses berjalan kembali dan menurunkan konsentrasi menjadi 0,686 mg/l (menit ke-240). Setelah itu dilakukan pencucian plat kembali. Namun setelah pencucian kedua, konsentrasi cenderung meningkat.

Berdasarkan hasil penelitian dari penurunan kadar Cr dan Cu limbah *artificial* dengan metode elektrokoagulasi terhadap variasi konsentrasi dapat dilihat bahwa variasi konsentrasi tidak mempengaruhi besar efisiensi removal pengolahan. Baik konsentrasi Cr maupun Cu mengalami penurunan hingga ± 97 %. Seperti penelitian yang juga dilakukan oleh Ispratiwi (2006) efisiensi removal pengolahan elektrokoagulasi dapat mencapai 95,67%, 92,9% dan 94,84% dalam mereduksi logam Cr, Cu dan Zn.

Pengaruh Kinerja Plat

Elektroda yang digunakan sebagai anoda dan katoda pada penelitian ini menggunakan aluminium dengan kemurnian 92 %. Dipilihnya aluminium sebagai elektroda karena sifatnya yang baik dalam menghantarkan listrik dan tahan korosi. Juga aluminium jika berikatan dengan OH⁻ akan menjadi koagulan yang baik.

Selama proses elektrokoagulasi, kondisi permukaan elektroda mengalami perubahan. Kondisi ini disebabkan terlepasnya ion aluminium ke dalam air (Sopiah, 2008) sehingga anoda terkikis dan pada katoda tampak ada bercak-bercak/lapisan putih yang menempel.

Ketika katoda digunakan kembali di tahap berikutnya, massanya tetap. Menurut Othman (2006), katoda tidak mengalami penurunan massa, karena katoda merupakan elektroda tempat terjadinya reaksi reduksi, sehingga logam katoda tetap dalam bentuk netral. Oleh karena itu, pada tahap kedua, berat katoda tidak mengalami perubahan.

Jika dilihat dari efisiensi penurunan kadar Cr dan Cu, dapat terlihat bahwa kinerja plat Aluminium mulai berkurang pada saat menit ke 240 hingga 360 menit. Contohnya pada sampel A, penyisihan terhadap

konsentrasi Cr pada menit 240-270 hanya meningkat sebesar 4,21%. Tidak seperti pada awal proses yaitu menit ke-150 yang mengalami penyisihan terhadap konsentrasi Cr sebesar lebih dari 7,45% dari konsentrasi sebelumnya. Bahkan setelah menit ke-270 konsentrasi terus meningkat menjadi 1/3 dari konsentrasi awal. Ini menunjukkan sudah tidak ada reaksi yang terjadi antara $Al(OH)_3$ dan kontaminan yang ada.

Waktu kontak antara air limbah dan elektroda dalam alat elektrokoagulasi mempengaruhi penurunan kadar Cr dan Cu. Semakin lama waktu kontakannya maka semakin lama pula air limbah bereaksi dengan elektroda sehingga mempengaruhi efisiensi removalnya. Tetapi karena kemampuan elektroda dalam mereduksi air limbah terbatas maka meskipun waktu kontak diperlama namun apabila reaksi antara elektroda dengan air limbah sudah jenuh kemampuan elektrodanya berkurang.

Dapat dikatakan kinerja plat telah mengalami kejenuhan. Salah satu faktor penyebab hasil diatas adalah pembentukan OH^- pada katoda juga semakin yang berkurang oleh karena adanya penempelan endapan pada katoda. Semakin besar endapan yang menempel, semakin besar pula permukaan katoda tertutup, dan terhambatnya pembentukan OH^- . Jika OH^- yang dihasilkan berkurang, berarti pengikatan Al^{3+} untuk membentuk koagulan akan berkurang. Sehingga penyisihan yang terjadi pada reaktor akan mengalami penurunan yang menyebabkan peningkatan konsentrasi (adanya beban konsentrasi yang terus bertambah oleh karena adanya sistem kontinyu).

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah:

1. Variasi konsentrasi tidak mempengaruhi besar efisiensi removal pengolahan. Baik konsentrasi Cr maupun Cu mengalami penurunan hingga $\pm 97\%$.

2. Dari penelitian yang telah dilakukan didapatkan kesimpulan bahwa semakin lama plat digunakan maka dapat mengalami kejenuhan sehingga kinerja plat semakin berkurang. Meskipun dilakukan pencucian plat, kenaikan efisiensinya hanya sedikit.

Saran yang dapat diberikan antara lain:

1. Banyak faktor yang mempengaruhi proses elektrokoagulasi ini, salah satunya adalah jenis elektroda. Perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai pengukuran dan perhitungan laju pelepasan ion agar dapat diketahui kapan elektroda dapat diganti/kandungan Al nya akan habis.
2. Selain itu keakuratan alat AAS perlu di cek kembali terlebih pada pengukuran sampel asli dengan kalibrasi, sehingga keakuratan sample dapat mencapai 100%.

DAFTAR PUSTAKA

- Perda Jateng. 2012. Baku Mutu Limbah Cair Industri Elektroplating.
- Othman, F., J. Sohaili, M. F. Ni'am, dan Z. Fauzia. 2006. *Enhancing Suspended Solid Removal From Wastewater Using Fe Electrodes*. Malaysia
- Sopiah, Siti. 2008. *Laporan Tesis Analisis Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Proses Elektrolisis Larutan $CuSO_4$ sebagai Bahan Kajian dalam Pembuatan Modul Praktikum dan Pembelajaran Elektronik*. Bandung: Digilib.itb
- Sunardi. 2007. *Jurnal Pengaruh Tegangan Listrik dan Kecepatan Alir Terhadap Hasil Pengolahan Limbah Cair yang Mengandung Logam Pb, Cd dan TSS Menggunakan Alat Elektrokoagulasi*. Yogyakarta : SemNas Teknologi Nuklir.