

# PENYISIHAN DAN PEROLEHAN KEMBALI Zn DALAM AIR LIMBAH ELEKTROPLATING DENGAN PROSES ELEKTROLISIS

*Bambang Yulianto\*)*

## **Abstract**

A research about removal and recovery of zinc from electroplating wastewater by electrolysis process was done, which was aimed to develop electrochemical method for removing the hazardous waste metal. This research discusses the use of electrolytic method to recover zinc from electroplating wastewater in electrolysis cells. Graphite was used as the anode with stainless steel as the cathode where zinc was deposited at stainless steel cathode. Current efficiency, recovery of zinc, and the rate constant of deposition reaction were selected as parameters and studying the effect of time to the electrolysis process, voltage, initial concentration of zinc, initial pH solution and gum Arabic were also added to improve zinc deposition and stripping.

The results show that recovery of zinc increase with the longer duration time of electrolysis but on the other hand the current efficiency decrease with the longer duration time of electrolysis. The increase in zinc concentration had effected on current efficiency, so the electrolysis is more effective with higher concentration of zinc. Optimum condition on artificial electrolyte were obtained when concentration of zinc 3000 mg/l, current density 0.0067 A/cm<sup>2</sup>, recovery of zinc 60,35%, current efficiency 59,38% and duration time of electrolysis 100 minutes. Applying optimum condition on wastewater, for wastewater I with concentration of zinc 3,788 mg/l, recovery of zinc 33.13%, current efficiency 56.12%, and current density 0.0049 A/cm<sup>2</sup>. For wastewater II with concentration of zinc 670 mg/l, recovery of zinc 15.50%, current efficiency 12.23%, and current density 0.0022 A/cm<sup>2</sup>. Applied voltage on wastewater is higher than artificial electrolyte. Gum Arabic added on artificial electrolyte and wastewater I had little effect on either recovery or current efficiency percentage, but on wastewater II it is more significant.

**Keywords:** Electrolytic recovery, zinc (Zn)

---

\*) *Jurusan Kesehatan Lingkungan*

## PENDAHULUAN

Limbah elektroplating bisa bersifat asam maupun basa dan mengandung logam berat diantaranya Zn, sehingga perlu dilakukan pengolahan sebelum di buang ke badan air.

Salah satu cara yang mungkin bisa dilakukan untuk menurunkan kadar Zn dalam air limbah tersebut dengan menggunakan metoda proses elektrokimia. Penelitian terhadap proses elektrokimia ini telah banyak dilakukan, diantaranya : Kongsricharoen, dkk (1995) menyimpulkan bahwa proses presipitasi elektrokimia menggunakan elektroda Fe dapat mengolah air buangan elektroplating yang mengandung  $\text{Cr}^{6+}$  dengan konsentrasi tinggi (3860 mg/l). Selanjutnya Tsai, dkk (1996) menyatakan bahwa elektrolisis yang merupakan metoda lain dari proses elektrokimia dapat menurunkan bahan organik terlarut pada leachate untuk ukuran molekul kecil yang diurai menjadi VOC atau  $\text{CO}_2$ . Binsfield, dkk (1998) menyimpulkan bahwa recovery Zn menggunakan anoda perak dan katoda aluminium, efisiensi arusnya 91 % dengan kemurnian seng yang terdeposisi sekitar 99,99% dan rapat arus optimum sebesar  $600 \text{ A/m}^2$ . Juang, dkk (1999) melakukan recovery terhadap logam Cu dan Pb dengan proses elektrodialisis menyatakan bahwa deposisi terhadap logam Cu lebih cepat dan efisien dibandingkan dengan logam Pb.

Penelitian ini mencoba untuk melihat penyisihan serta recovery terhadap Zn secara elektrolisis dari air limbah elektroplating yang berasal dari industri elektroplating di Bandung, dengan menggunakan elektroda Grafit sebagai anoda dan Stainless Steel sebagai Katoda.

Pelaksanaan penelitian terutama ditujukan untuk mengetahui kinerja sel elektrolisis dan mengevaluasi kemampuan sistem dengan melihat parameter prosentase *recovery* dan efisiensi arus terhadap air limbah elektroplating dalam rentang waktu elektrolisis yang diteliti.

## METODOLOGI PENELITIAN

### A. Persiapan

1. Penentuan parameter utama yaitu efisiensi arus dan recovery seng.  
Penentuan efisiensi arus ( $\eta$ ) ini dengan perhitungan (Juang, dkk 2000):

$$\eta(\%) = \frac{\text{Jumlah seng yang terdeposisi pada katoda}}{\text{Jumlah seng terdeposisi berdasarkan hukum Faradays}} \times 100$$

Sedangkan untuk melihat perolehan kembali (recovery) seng dilakukan dengan perhitungan:

$$R_{Zn}(\%) = \frac{\text{Jumlah seng yang terdeposisi i pada katoda (gram)}}{\text{Jumlah awal seng dalam larutan (gram)}} \times 100$$

## 2. Pembuatan limbah artifisial untuk simulasi perolehan kembali seng sebagai larutan elektrolit

Komposisi standar dari limbah artifisial yaitu terdiri dari : 0,0459 M ZnO (3,7345 gr/l), 0,107 M KCN (7 gr/l) dan 0,5 M NaOH (20 gr/l). Dari larutan seng tersebut dihasilkan limbah dengan kadar seng 3788 mg/l dan 670 mg/l setelah limbah tersebut bercampur dengan air pencucian katoda. Lem (*gum arabic*) juga ditambahkan untuk melihat perbaikan terhadap deposisi seng dan pelucutan (*stripping*).

## 3. Pembuatan sel elektrolisis

Sel elektrolisis terdiri dari dua sel paralel dengan jarak antara katoda dan anoda 45 mm, dengan luas permukaan elektroda masing-masing 84,9 cm<sup>2</sup>. Penelitian dilakukan dalam sistem *batch*. Sebagai anoda digunakan grafit dan katodanya stainless steel dengan dimensi yang sama kecuali ketebalannya, untuk grafit 5mm, untuk stainless 1mm.

## 4. Preparasi elektroda

Sebelum memulai percobaan elektrolisis, dilakukan preparasi elektroda, yaitu pembersihan lemak menggunakan *solvent degreasing* terhadap katoda stainless steel kemudian dicuci dengan sabun selanjutnya dibilas dengan akuades lalu di oven. Untuk anoda grafit direndam terlebih dahulu di asam sulfat untuk menghilangkan oksida logam, cuci dengan sabun kemudian bilas dengan air, selanjutnya rendam dalam akuades, bilas dan keringkan dengan oven. Setelah dari oven dinginkan dalam desikator, kemudian ditimbang berat anoda maupun katoda.

## B. Pelaksanaan

1. Tempatkan 400ml larutan elektrolit pada kedua sel setelah elektroda pada masing-masing sel terpasang.
2. Lakukan variasi terhadap voltase yang digunakan, lamanya elektrolisis, konsentrasi awal seng dalam larutan, dan pH awal larutan terhadap limbah artifisial.

3. Selanjutnya dilakukan penelitian terhadap limbah asli dengan variasi voltase dimana lamanya elektrolisis berdasarkan waktu optimum pada limbah artifisial.
4. Hitung berat seng yang terdeposisi di katoda, dengan pengambilan sampel terhadap efluen hasil proses elektrolisis dan lihat kemurnian dari seng yang terdeposisi di katoda dengan pelarutan kembali dari seng yang terdeposisi di katoda serta periksa kadar sengnya menggunakan metoda AAS.
5. Setiap selesai percobaan elektrolisis, baik untuk anoda maupun katoda direndam dalam akuades dalam wadah yang terpisah selama 15 menit, selanjutnya untuk katoda setelah itu dibilas dengan air akuades, kemudian direndam dalam aseton, selanjutnya dioven dengan suhu 110°C selama 5 menit. Untuk anoda grafit setelah direndam dengan akuades kemudian direndam dalam asam klorida 15% selama 5 menit lalu dibilas dengan akuades, lalu dicuci dengan sabun dan dibilas dengan air keran yang mengalir selama 10 menit kemudian direndam kembali dalam akuades selama 20 menit. Setelah itu dibilas dengan akuades selanjutnya dioven bersamaan dengan katoda. Setelah didinginkan dalam desikator, dilakukan penimbangan terhadap katoda dan anoda.

Metoda analisa terhadap Parameter fisik dan kimia dari sampel dianalisa sesuai dengan methoda yang diuraikan dalam standard methods (APHA, AWWA, WPCF, 1989) sebagai berikut :

Parameter	Metoda Analisa
Total Zn	Atomic adsorption spectrophotometer
pH	Glass electrode methode
Konduktivitas (mS/cm)	Konduktiviti meter
Temperatur	Temperatur recording
Total Zn terdeposisi pada katoda	Gravimetri
Pemakaian listrik	Power meter
Arus listrik	Ammeter
Potensial listrik	Digital multi-meter

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Karakteristik air limbah dan artificial

Karakteristik air limbah dan artifisial yang digunakan untuk penelitian ini bisa dilihat pada tabel 1 di bawah ini. Dari tabel tersebut terlihat bahwa parameter logam Fe, Cu, Ni, As, Sn dan Sb yang terdapat dalam air limbah masih relatif kecil untuk timbulnya gas hidrogen sehingga memungkinkan dilakukan *treatment* secara elektrolisis.

**Tabel 1.**  
**Karakteristik Air Limbah dan Artifisial**

No.	Parameter	Satuan	Limbah asli		Artifisial
			I	II	
1.	pH	-	12,32	11.87	13,64
2.	DHL	$\mu\text{S/cm}$	25000	19000	22.000
3.	Seng (Zn)	Mg/l	3788	670	3.000
4.	Besi (Fe)	Mg/l	9.76	2.73	*
5.	Tembaga (Cu)	Mg/l	5.5	0.24	*
6.	Plumbum (Pb)	Mg/l	1.56	*	*
7.	Selenium (Sn)	Mg/l	*	*	*
8.	Sb	Mg/l	16.64	*	*
9.	Arsen (As)	Mg/l	*	*	*

Keterangan :

\* = Tidak terdeteksi

### Percobaan untuk melihat homogenitas tiap sel

- Asumsi : adanya homogenitas tiap sel jika terjadi kesamaan arus yang mengalir pada tiap sel
- Kondisi percobaan :

Larutan elektrolit : 10 ml NaOH 30% + Air akuades sampai 400 ml untuk tiap sel

Dilakukan *pickling* terlebih dahulu terhadap anoda grafit. Hasil :

**Tabel 2.**  
**Hasil Percobaan Homogenitas Tiap Sel**

Replika	Arus yang mengalir (Ampere) pada:	
	sel 1	Sel 2
run1	0,6	0,6
run2	0,6	0,6
run3	0,6	0,6

Catatan :

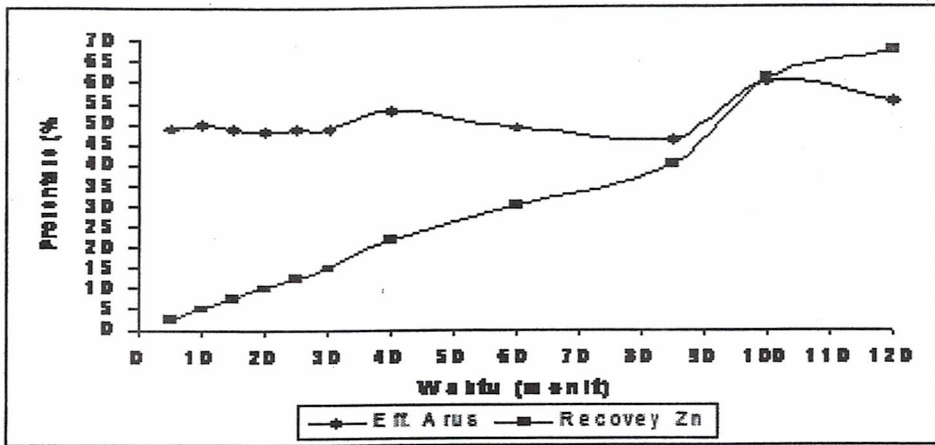
Lamanya waktu elektrolisis : 50 menit

Tidak terjadi deposisi pada katoda

### Efek dari waktu elektrolisis

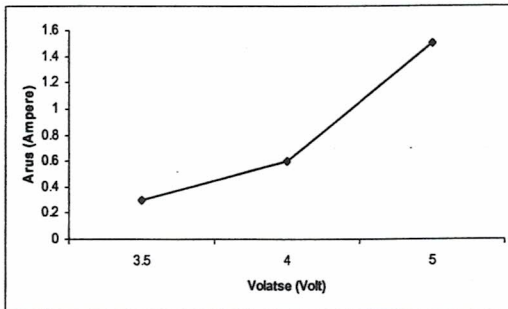
Percobaan ini dilakukan dalam kondisi standar, voltase yang digunakan 4 volt. Hasilnya adalah sebagai berikut :

**Gambar 1.**  
**Profil Waktu Terhadap Efisiensi Rapat Arus dan Perolehan Kembali Zn**  
**Pada Kondisi Standar Dengan Voltase 4 volt.**

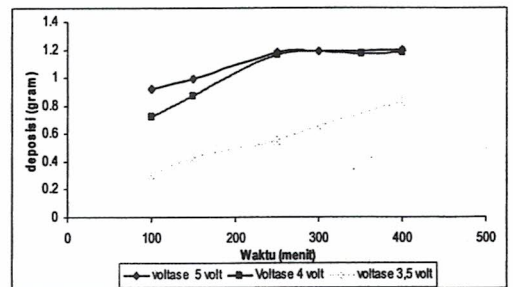


Pada gambar 1 di atas terlihat bahwa efisiensi arus masih fluktuatif sejalan dengan waktu elektrolisis sedangkan recovery semakin naik. Untuk penelitian selanjutnya waktu yang digunakan dimulai dari 100 menit untuk melihat perubahan efisiensi arus dan recovery seng selama proses elektrolisis dalam rentang waktu yang diteliti.

**Efek dari voltase**



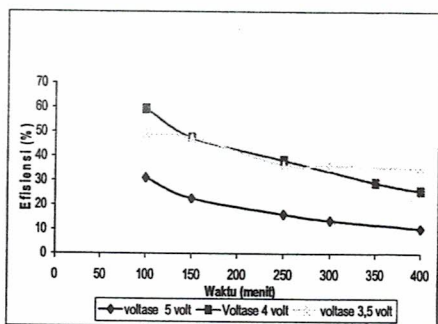
Gambar 2. Arus yang terjadi pada variasi voltase



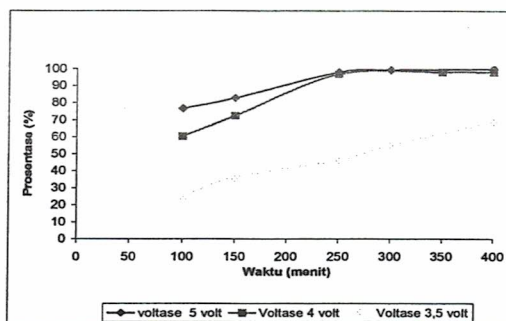
Gambar 3. Deposisi seng yang terjadi pada variasi voltase

Penggunaan voltase dimulai dari 3,5 volt ini karena pada voltase 3 volt tidak terjadi deposisi seng pada katoda setelah waktu elektrolisis selama 100 menit. Dari gambar 2 di atas terlihat bahwa arus yang terjadi akan meningkat sejalan dengan peningkatan voltase dari 3,5 sampai 5 volt. Peningkatan arus tersebut tidak linier, hal ini disebabkan polarisasi yang terjadi pada elektroda bervariasi terhadap voltase yang digunakan. Gambar.3 memperlihatkan

deposisi aktual yang terjadi selama waktu elektrolisis, antara voltase 4 & 5 hampir sama dibandingkan dengan voltase 3,5. Disini terlihat bahwa dengan peningkatan arus akan meningkatkan rapat arus yang terjadi, yang berdampak terhadap peningkatan jumlah seng yang terdeposisi pada katoda. Namun demikian rapat arus ini berpengaruh terhadap morfologi endapan yang terjadi. Pada rapat arus yang rendah (penggunaan voltase 3,5 volt), pelepasan muatan ion terjadi secara lambat sehingga banyak waktu yang digunakan untuk pertumbuhan kristal, menyebabkan kristal yang terbentuk kasar, dan tidak melekat kuat pada katoda. Selanjutnya dengan peningkatan voltase dari 3,5 ke 4 dan 5 volt terjadi peningkatan rapat arus yang menyebabkan laju pelepasan muatan ion juga meningkat sehingga cenderung terjadi pembentukan inti dibandingkan pembentukan kristal. Hal ini menyebabkan seng yang tersalut pada katoda semakin halus dan semakin sukar untuk dilakukan perlucutan. Untuk melihat laju deposisi dalam bentuk efisiensi arus dan prosentase perolehan kembali seng bisa dilihat pada gambar 4, dan 5.



Gambar 4. Efisiensi Arus pada Variasi Voltase



Gambar 5. Recovery Seng pada Variasi Voltase

Pada gambar 4 dan 5 diatas terlihat bahwa untuk voltase 4 volt, efisiensi arus dan prosentase recoverynya paling baik dibandingkan pada voltase 3,5 dan 4 volt, sehingga untuk penelitian selanjutnya voltase yang digunakan 4 volt.

### Efek dari konsentrasi awal Zn

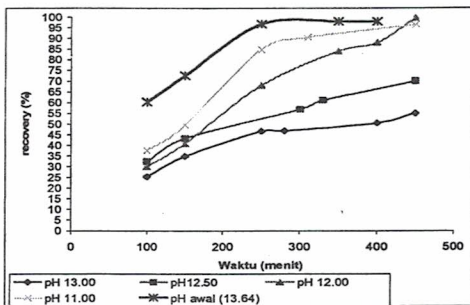
Perbedaan terhadap konsentrasi awal dari seng menyebabkan terjadinya perbedaan dalam laju deposisi dan prosentase perolehan kembali seng. Hal ini bisa disebabkan karena semakin tinggi konsentrasi seng dalam larutan menyebabkan semakin tinggi angka ketidakstabilan, sehingga energi yang dibutuhkan untuk terjadinya transfer elektron pada katoda semakin rendah disamping itu juga semakin tinggi pula kekuatan ionnya yang berpengaruh terhadap koefisien keaktifan terhadap tetapan kesetimbangannya,

sehingga energi yang diperlukan untuk merubah reaksi kesetimbangan tersebut menjadi lebih rendah.

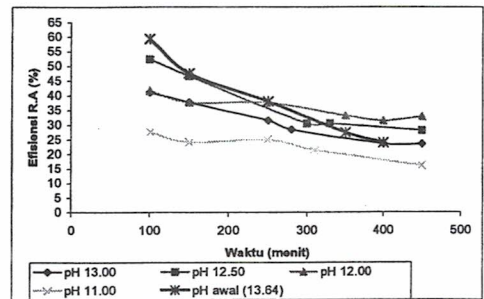
Dari percobaan diperoleh bahwa prosentase *recovery* seng maupun efisiensi arus paling baik pada konsentrasi awal seng sebesar 3000 mg/l. Untuk penelitian selanjutnya konsentrasi awal seng yang digunakan adalah 3000 mg/l.

**Efek dari pH larutan.**

Pengaturan pH larutan dilakukan dengan penambahan asam klorida (HCl) 30% dalam larutan, dengan variasi pH awal larutan : 11, 12, 12,5 dan 13. Hasilnya bisa dilihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 6. Recovery seng pada variasi pH awal larutan



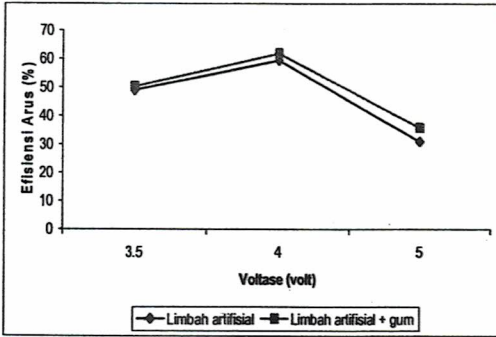
Gambar 7. Efisiensi arus pada variasi pH awal larutan

Dari gambar 6 dan 7 di atas terlihat bahwa untuk pH awal larutan paling rendah (pH 11) prosentase *recovery* yang dihasilkan lebih baik dibandingkan yang lainnya, sebaliknya untuk efisiensi arus lebih rendah dibandingkan dengan pH awal lainnya. Efisiensi arus pada 100 menit pertama menurun dari 59,38% menjadi 41,22% dengan pengaturan pH menjadi 13 dan naik kembali menjadi 52,44%, pada pH awal menjadi 12,5 kemudian turun kembali menjadi 41,74% pada pH awal 12 dan selanjutnya turun lagi menjadi 27,70% pada pH awal larutan 11. Dari data itu terlihat bahwa terdapat hubungan yang kompleks antara pH awal larutan dengan efisiensi arus yang dihasilkannya. Dari hasil penelitian ini memperlihatkan bahwa tanpa pengaturan pH awal dari larutan memberikan hasil yang lebih baik terhadap efisiensi rapat arus dan prosentase *recovery* seng, dimana untuk 100 menit pertama *recovery* seng mencapai 60,35% dan efisiensi arus 59,38 %.

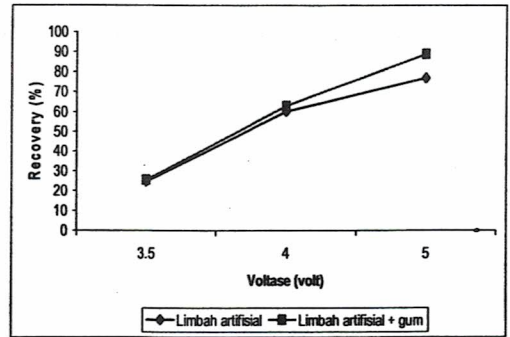
**Penggunaan Gum Arabic**

Perbandingan laju deposisi seng dan prosentase *recovery* pada limbah artifisial dengan dan tanpa penambahan gum dapat dilihat pada gambar 10 dan 11 di bawah ini :





Gambar 8. Efisiensi arus dengan dan tanpa penambahan gum Arabic



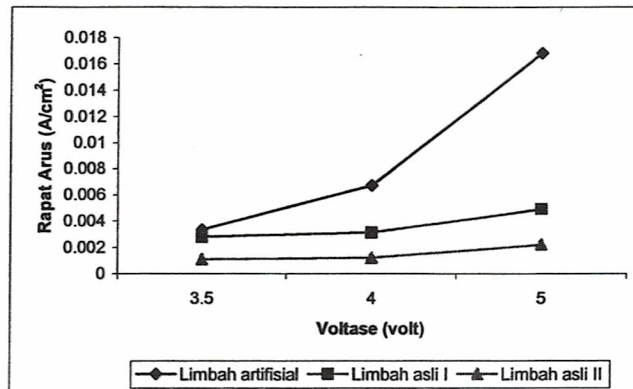
Gambar 9. Recovery seng dengan dan tanpa penambahan gum Arabic

Pada gambar 8 dan 9 di atas terlihat bahwa terlihat peningkatan efisiensi arus dengan penambahan *gum Arabic* walaupun relatif kecil dan peningkatan terhadap prosentase recovery seng yang semakin besar sejalan dengan peningkatan voltase.

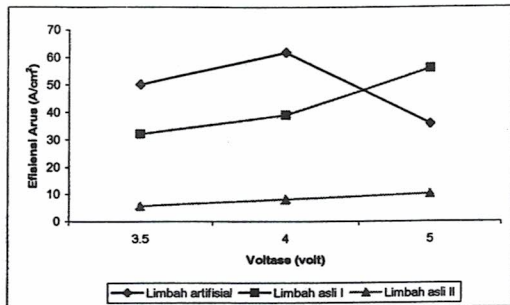
### Aplikasi terhadap limbah Asli

Limbah asli disini terdapat dua jenis yaitu limbah yang diambil dari tempat penampungan limpasan dari bak proses pelapisan seng disebut limbah asli I dan limbah yang diambil dari tempat penampungan setelah bercampur dengan proses pencucian dan pembilasan katoda disebut limbah asli II. Rapat arus yang terjadi dengan penggunaan voltase 3,5 ; 4 dan 5 volt berbeda dibandingkan dengan limbah artifisial hal ini bisa dilihat pada gambar 10 di bawah ini :

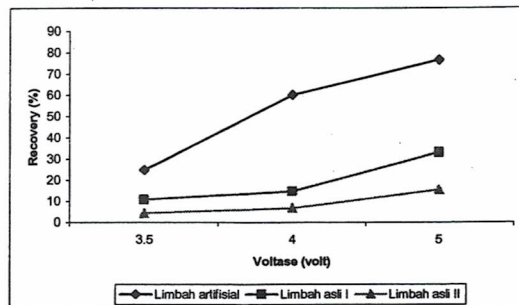
Gambar 10. Rapat arus antara limbah artifisial dan limbah asli I serta limbah asli II



Sedangkan laju deposisi dan prosentase recovery seng yang diperoleh pada limbah asli I dan II dibandingkan dengan limbah artifisial bisa dilihat pada gambar 11 dan 12 di bawah ini :

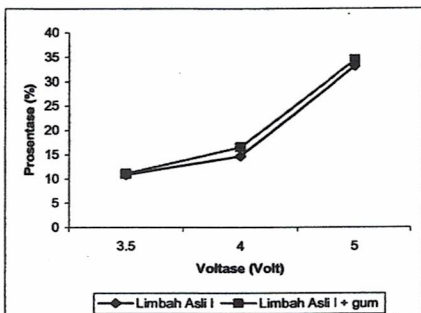


Gambar 11. Efisiensi arus antara limbah artifisial dan limbah asli I serta limbah asli II

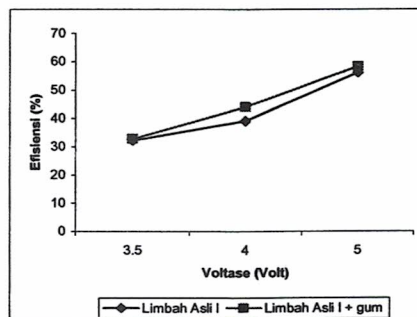


Gambar 12. Recovery seng antara limbah artifisial dan limbah asli I serta limbah asli II

Dari data penelitian di atas terlihat bahwa penggunaan voltase luar untuk limbah asli I dan II bisa lebih dari 5 volt, karena peningkatan rapat arus yang terjadi lebih kecil dibandingkan dengan limbah artifisial.



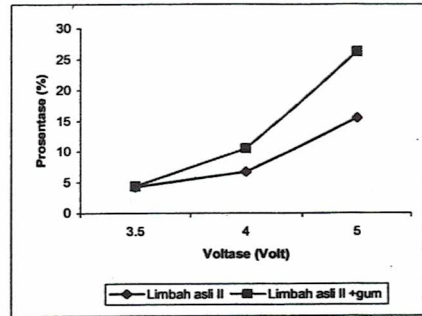
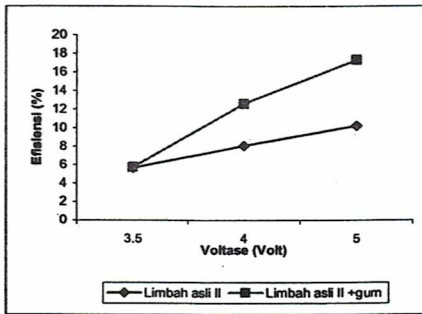
Gambar 13. Efisiensi arus pada limbah asli I



Gambar 14. Recovery seng pada limbah asli I

Penggunaan gum Arabic terhadap limbah asli I dan II bisa meningkatkan efisiensi arus serta prosentase *recovery* seng, hal ini diperlihatkan pada gambar 13 dan 14 untuk limbah asli I dan gambar 3.15 dan 3.16 untuk limbah asli II.

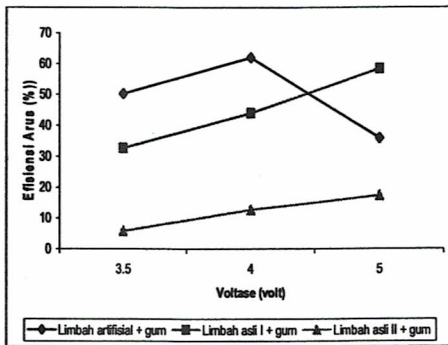
Dari grafik 13 sampai dengan 16 terlihat bahwa semakin rendah konsentrasi awal seng pada limbah asli semakin kentara efek dari penambahan gum Arabic ini. Hal ini bisa disebabkan oleh sifat adesif yang dimiliki oleh gum Arabic.



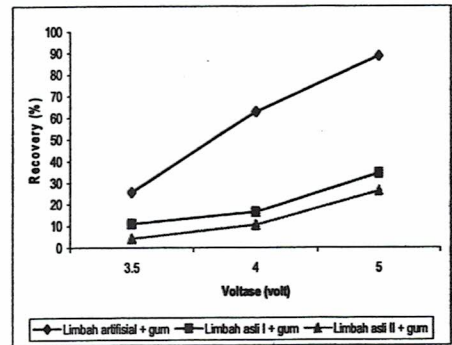
Gambar 15. Efisiensi arus pada limbah asli II

Gambar 16. Recovery seng pada limbah asli II

Perbandingan antara efisiensi arus dan prosentase *recovery* seng pada limbah artifisial maupun limbah asli dengan penambahan *gum Arabic* bisa dilihat pada gambar 17 dan 18 di bawah ini :



Gambar 17. Efisiensi arus pada Limbah artifisial maupun limbah



Gambar 18. Recovery seng pada limbah artifisial maupun limbah asli

Penambahan *gum Arabic* baik pada limbah artifisial maupun limbah asli tidak berpengaruh terhadap rapat arus yang terjadi, tetapi berpengaruh terhadap efisiensi arus maupun prosentase *recovery* seng yang terjadi.

## SIMPULAN

Perolehan kembali (*recovery*) seng meningkat sejalan dengan lamanya waktu elektrolisis tetapi efisiensi arus yang menggambarkan laju deposisi seng menurun sepanjang waktu elektrolisis. Perbedaan konsentrasi awal seng dalam proses elektrolisis tidak berpengaruh terhadap rapat arus yang terjadi, tetapi berpengaruh terhadap laju dekomposisi dan prosentase *recovery*. Pengaturan terhadap pH awal larutan menyebabkan terjadinya penurunan terhadap prosentase *recovery* seng maupun efisiensi arus dibandingkan dengan tanpa pengaturan pH. Rapat arus yang terjadi antara limbah artifisial lebih besar dibandingkan dengan limbah asli I maupun II sehingga voltase luar yang dibutuhkan untuk limbah asli lebih besar dibandingkan limbah artifisial.

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk meningkatkan efisiensi arus dengan melakukan kontrol potensial katoda maupun terhadap komposisi larutan untuk proses elektrolisis ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Benefield, L. D., Joseph, F Jenkins and Barron, L., Weand, Process Chemistry for Water and Wastewater Treatment, Prentice Hall inc., New jersey, 1982.
- Dolaris Reauty, Siti Nurhayati, Fizizrita, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Lingkungan ITB, Bandung.
- Fair, G.M., Geyer, J.C. and Okun, D.A., Water and Wastewater Engineering, John Wiley and Sons inc, New York, 1978
- Fedrizzi, L., Ciaghi, L., Bonora, P.L., Fratesi, R. and Roventi, G., corrosion behaviour of electrogalvanized steel in sodium chloride and ammonium sulphate solutions, a study by EIS, J. Appl. Electrochem 22, 247-254, 1992
- Graedel, T.E., Corrosion mechanism for zinc exposed to the atmosphere, J. Electrochemical Soc. 136. 193-203, 1989
- Haas, Charles N. and Vamos, RichaRD j., Hazardous and Industrial Waste Treatment, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1995.
- Juang, Ruey-shin and Wang, Shio-wen, Electrolytic Recovery of Binary Metals and EDTA from Strong Complexed Solutions, Wat. Res., Vol.34, pp 3179-3185, 2000.
- Kawamura, Susumu, Integrated Design Of Water Treatment Facilities, John Wiley & Sons, inc., New York, 1991.
- Kongsricharoern N. and Polprasert C., Electrochemical Precipitation of Chromium (Cr<sup>6+</sup>) from an Electroplating Wastewater, Journal Water Science Technology No. 9, 1995.
- Lasmi, Shinta Indah, Syamsul Bachri, Thesis, Program Magister Jurusan Teknik Lingkungan ITB, Bandung.
- Metcalf and Eddy, Wastewater Engineering, Third Edition, McGraw-Hill, inc., Singapore, 1997.
- Montgomery, James M., Water Treatment Principles and Design, John Wiley & Sons, New York, 1985.
- Thomas, B.K. and Fray, D.J., The Conductivity of Aqueous Zinc chloride Solutions, J. Appl. Electrochem 12, 1-5, 1982

- Tsai, C.T., Lin, S.T., Shue, Y.C. and Su, P.L., Electrolysis of Soluble Organic Matter in Leachate from Landfills, *Wat. Res.*, Vol. 31, No. 12, pp. 3073-3081, 1997.
- Vik, Eilen Arctander, Small Water Treatment Plants Using Electrocoagulation, 4<sup>th</sup>, Asia Pasific Regional Water Supply Conference and Exhibition, Jakarta, 1983.
- Zhang, Gregory, Xiaoge, Corrosion and Electrochemistry of Zinc, Cominco Ltd, Product Technology Centre, Mississauga, Ontario, Canada, Plenum Press, 1996.