

Reduksi Kadar Tembaga (Cu) Dengan Metode Elektrolisis Pada Pengolahan Limbah Cair Priting Circuit Board (PCB)

Reduction Levels of Copper (Cu) Electrolysis Method In Priting Liquid Waste Processing Circuit Board (PCB)

Silfi Arini^{1*}, Bambang Suharto, Liliya Dewi S., Handaru B Cahyono.²

¹Jurusan Teknik Lingkungan - Fakultas Teknologi Pertanian

²Balai Riset dan Standardisasi Industri Surabaya - Jl. Jagir wonokromo 360 surabaya

Universitas Brawijaya - Jl. Veteran Malang 65145

Korespondensi Silfi_arini@yahoo.co.id

ABSTRAK

Industri elektronika merupakan salah satu industri prioritas nasional yang terus tumbuh dan berkembang. Pertumbuhan industri elektronika nasional sebesar 10,9% dan memiliki nilai ekspor sebesar US \$ 9,084 miliar menduduki tempat kedua setelah ekspor TPT (Tekstil Produk Tekstil) serta tingkat produksi rata-rata sebesar 65-70%. Beberapa industri komponen elektronika turut mendukung tumbuh kembangnya salah satunya PCB. Berdasarkan kandungan material B3 yang tinggi terutama pada buangan larutan bekas rendaman PCB atau cairan pekat maka limbah cair industri PCB wajib dilakukan pengolahan sebelum limbah cair dilepas ke lingkungan. Metode ini digunakan dengan elektrolisis dengan tegangan 7,5 Volt. Jenis penelitian ini adalah eksperimen laboratorium. Sampel ini berupa elektrodaposisi tembaga (Cu) dengan mengalirkan arus listrik searah pada elektroda yang dicelup dalam limbah cair (proses *etching*) pembuatan PCB. Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah pendekatan kuantitatif dan menggunakan analisis matematik. Data kuantitatif diperoleh dari variasi durasi proses, jarak antar elektroda, dan jenis elektroda yang digunakan kemudian dari data akan diturunkan dengan menggunakan rumus matematik. Berdasarkan hasil penelitian maka, Tembaga (Cu) yang terlarut dalam limbah cair PCB dapat menjadi deposit tembaga dengan removal 70 % - 90%. Elektroda yang memberikan efisiensi yang tinggi pada elektrodaposisi tembaga (Cu) pada limbah cair industri PCB adalah plat baja dengan pada jarak 1 cm. Berdasarkan hasil pada plat baja ini mengalami penurunan removal 88%. Waktu antara elektroda yang diperlukan pada proses elektrodaposisi tembaga (Cu) dalam limbah cair industri PCB pada waktu 60 menit, Hal ini dilakukan karena tidak ada lagi peningkatan yang signifikan terjadi pada deposit tembaga di katoda. Massa tembaga dalam larutan elektrolit telah hampir habis pada massa tersebut.

Kata Kunci : Limbah cair PCB, Metode elektrolisis, Pengolahan Reduksi kadar tembaga (Cu).

ABSTRACT

Electronics industry is one of the national priorities industry continues to grow and evolve. National electronics industry growth of 10.9% and export value of US \$ 9.084 billion, second only to the export of textile (Textile Products Textile) and an average production rate of 65-70%. Some of the electronic components industry also contributed to the growth of one PCB. Based on B3 material content is high, especially in the waste solution soaked concentrated liquid PCBs or PCB industry, the liquid waste must be performed prior to treatment of wastewater released into environment.. This method is used by electrolysis with 7.5 Volt. Type of this research is a laboratory experiment. This sample form elektrodaposisi copper (Cu) by passing electric current to the electrodes are dipped in liquid waste (process *etching*) PCB manufacture. The approach used in this research is a quantitative approach and using mathematical analysis, with the intention of analyzing the data that is expressed with nominal. Quantitative data were obtained from the variation of the duration of the process, the distance between the electrodes, and the type of electrode used then the data will be derived using mathematical formulas. Based on the research results, Copper (Cu) were dissolved in the liquid waste PCB may be copper deposit with the removal of 70% - 90%. The electrodes that provide high efficiency at elektrodaposisi copper (Cu) in the wastewater industry PCB is a steel plate with at a distance of 1 cm. Based on the results of this steel plate decreased 88% removal. The time between the electrodes required to process

elektrodaposisi copper (Cu) in the wastewater industry PCBs at 60 minutes, This is done because there is no longer a significant increase occurred in the copper deposit at the cathode. Mass of copper in the electrolyte solution has been nearly exhausted in the mass.

Keywords: Electrolysis method, Liquid waste PCB, Reduction of the levels of processing copper (Cu).

PENDAHULUAN

Industri *Printing Circuit Board* (PCB) atau papan sirkuit cetak adalah salah satu industri penunjang (industri elektronika konsumsi) klaster industri mesin listrik dan peralatan listrik (Maria Paola Luda, 2008). Papan PCB dibutuhkan hampir setiap rangkaian peralatan elektronika (Maria Paola Luda, 2008). Pada proses pembuatan PCB, dilibatkan bahan kimia salah satunya adalah Tembaga Diklorida (CuCl_2), bahan ini digunakan dalam jumlah yang terbatas dengan perlakuan antara lain pengenceran. Berdasarkan kandungan bahan kimia pada PCB, permasalahan yang muncul bahwa pada proses *printing* atau pembuatan PCB dihasilkan limbah cair dengan kandungan bahan pencemar yang sangat tinggi. Apabila limbah sisa dari *printing* atau pembuatan PCB langsung dibuang ke lingkungan tanpa ada pengelolaan terlebih dahulu. Maka akan merusak lingkungan, karena jenis limbah ini tergolong dalam karakteristik limbah B3. Air cucian lembaran PCB yang telah di *printing* memiliki karakteristik kandungan ion tembaga dengan pH kisaran 4, namun larutan bekas rendaman PCB ini memiliki karakteristik yang jauh lebih pekat dan korosif daripada air cucian. Kandungan utamanya antara lain garam Ferri Clorida (FeCl) yang telah lemah dan kandungan ion tembaga (Cu) yang telah tinggi. Volume limbah sangat bervariasi tergantung kapasitas dan kebiasaan industri. Karakteristik limbah cair pada proses pembuatan PCB antara lain : asam yang sangat pekat pH kisaran 1, Bersifat korosif dan merusak, bau asam yang sangat menyengat, berwarna biru pekat kehitaman, sarat unsure/ion tembaga (Cu^{3+}) larutan bekas rendaman PCB dengan konsentrasi >100 Cu gram/liter larutan (konsentrasi $\text{Cu} > 10\%$).

Berdasarkan kandungan material B3 yang tinggi terutama pada buangan larutan bekas rendaman PCB atau cairan pekat maka limbah cair industri PCB wajib dilakukan pengolahan sebelum limbah cair dilepas ke lingkungan. Endapan dari suatu produk yang dihasilkan merupakan produk yang

harus mengalami berbagai proses yang panjang dan mahal hingga produk dapat dimanfaatkan kembali. Biaya pengolahan limbah cair terasa berat ketika tidak ada lagi nilai tambah yang diperoleh dari bahan yang diperoleh tersebut. Penelitian mengenai reduksi kadar tembaga (Cu) dengan metode elektrolisis pada pengolahan limbah cair PCB. Teknologi ini sederhana dan mudah dilakukan pada semua jenis limbah industri. Sehingga lebih efektif dan dapat deposit tembaga (Cu) yang diperoleh diharapkan berada dalam kondisi yang lebih murni sehingga dapat dimanfaatkan kembali. Tujuan penelitian ini adalah : 1) untuk mengetahui tembaga (Cu) yang terlarut dalam limbah cair PCB menjadi deposit tembaga, 2) untuk mengetahui jenis elektroda yang memberikan efisiensi yang tinggi pada elektrodaposisi tembaga (Cu) pada limbah cair industri PCB, dan 3) untuk mengetahui waktu antara elektroda yang diperlukan pada proses elektrodaposisi tembaga (Cu) dalam limbah cair industri PCB.

BAHAN DAN METODE

Kegiatan penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Balai Riset dan Standarisasi Industri Surabaya pada bulan September 2014 sampai dengan bulan Februari 2015. Jenis penelitian ini adalah eksperimen laboratorium. Sampel ini berupa elektrodaposisi tembaga (Cu) dengan mengalirkan arus listrik searah pada elektroda yang dicelup dalam limbah cair (proses *etcing*) pembuatan PCB.

1. Persiapan Awal Sampel Limbah Cair
Pengambilan sampel limbah cair PCB sebanyak 0,5 liter dengan dilakukan pengenceran sebanyak 20 kali dengan penambahan aquades 9,5 liter ditempatkan pada timbuh dan dihomogenkan dengan statif holder. Kemudian dilakukan penyaringan dengan menggunakan kertas saring, diambil filtratnya ditempatkan pada botol dengan ukuran 600 ml untuk dianalisis kadar Cu, pH, Fe, dan Cr.

Setelah itu hasil uji kadar Cu, pH, Fe, dan Cr di sesuaikan dengan standart baku mutu limbah cair menurut keputusan Gubernur Jawa Timur No.72/2013.

2. Elektrolisisian

Elektrolisis dilakukan ketika sudah diketahui hasil karakteristik limbah awal, kemudian dilakukan pengambilan sampel sebanyak 200 ml yang telah diencerkan ditempatkan pada beaker glass dan tidak ada replikasi sampel, pemasangan dan pencelupan batang elektroda pada larutan elektrolit, dengan menggunakan elektroda plat baja dan stainless, waktu yang digunakan 15 menit, 30 menit, 45 menit, dan 60 menit. Proses elektrolisis ini menggunakan volt meter dengan daya 7,5 volt, dipasang masing-masing plat pada mulut buaya yang sesuai dengan kutub positif (anoda) dan kutub negatif (katoda). Setelah selesai proses deposisi beratlogam, makadilakukan pemutusan arus listrik dan pengangkatan batang elektroda. Deposit residu tembaga (Cu) pada katoda dilakukan penyaringan filtrat. Setelah itu dilakukan analisis uji kadar tembaga dalam filtrate pH, Fe, Cu dan Cr total.

3. Analisis Sampel

1) Persiapan Sampel

Adapun pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah pendekatan kuantitatif dan menggunakan analisis matematik, dengan maksud menganalisa data yang dinyatakan dengan nominal. Data kuantitatif tersebut diperoleh dari variasi durasi proses, jarak antar elektroda, dan jenis elektroda yang digunakan kemudian dari data akan diturunkan dengan menggunakan rumus matematik.

Data dalam penelitian ini menggunakan data primer, pengamatan langsung yaitu hasil observasi langsung dari pengamatan peneliti pada subyek penelitian di laboratorium. Suharsimi Arikonto (2002) menjelaskan bahwa sumber data adalah sumber darimana data di peroleh. Dalam ilmu elektronika, hukum dasar elektronika yang wajib dipelajari dan dimengerti oleh setiap *engineer* elektronika adalah hukum Ohm, yaitu hukum dasar yang menyatakan hubungan antara voltase

dalam elektrolit dan kekuatan arus listrik yang mengalir ditunjukkan oleh hukum ohm yaitu

$$-.....(1)$$

I = Arus Listrik (Ampere)

E = Beda Pontensial (Volt)

R = Resistensi (Ohm)

Bahwasannya untuk menentukan logam yang terdeposisi dengan arus dan waktu yang ditentukan dengan massa atom atau molekul relatif.

$$-x.....(2)$$

G = berat logam terdeposisi (gram)

I = Rapat Arus (ampere)

t = Waktu (detik)

Ar/Mr = Massa Atom atau Molekul Relatif

2) AAS

AAS merupakan alat untuk mengetahui kandungan logam berat dalam sample (Hg, Se, As, Al, Cu, Cr, Si, Sn, Fe, Na, Cd, Pb, Zn, Mn, Ba, Ni, Co, Sb, Bi, Te, Mg). Sebelum dipergunakan untuk mengukur kandungan sampel, sebaiknya AAS dinyalakan 10-15 menit sebelum pemakaian. Masukkan larutan standar logam tertentu ke dalam tabung reaksi besar, misalnya untuk mengukur Cu dalam air maka menggunakan larutan standar Cu dengan deret standar 1 ppm, 3 ppm, 5 ppm, 7 ppm dan 9 ppm. Masukkan sampel yang akan diukur kandungan logamnya dengan menggunakan tabung reaksi kecil. Untuk mengetahui kandungan Cu dalam sampel, maka harus menggunakan lampu Cu. Atur methode pengukuran di komputer yang tersedia. Untuk mengukur sampel yang banyak dapat menggunakan SPS dan pengaturan otomatis sehingga pada saat pengukuran bisa ditinggal-tinggal. Sedangkan untuk sampel sedikit, lebih fleksibel menggunakan pengaturan manual, sehingga selama pengukuran membutuhkan kinerja teknisi dan tidak bisa ditinggal-tinggal.

PEMBAHASAN

1. Karakteristik Limbah Awal

Penelitian pendahuluan merupakan proses awal untuk mengetahui kandungan limbah

cair atau karakteristik *Printing Circuit Board* (PCB). Hasil pengujian awal yang disesuaikan dengan baku mutu limbah cair menurut keputusan Gubernur Jawa Timur No.72/2013. Hasil pengujian yang diperoleh dari uji laboratorium ditampilkan pada Tabel 1 berikut ini :

Tabel 1. Karakteristik Awal Limbah Cair PCB

No	Parameter	Satuan	Hasil Pengujian	Baku Mutu
1	Cu	mg/l	7579	3
2	Cr Total	mg/l	0.330	0,5
3	Fe	mg/l	31.16	10
3	pH	mg/l	1	6 – 9

Sumber : Data Uji Laboratorium tahun 2015

Berdasarkan Tabel 1 diketahui bahwa parameter yang tidak memenuhi baku mutu yaitu: Fe, Cu, Cr total, dan pH 1. Oleh karena itu dari beberapa hasil dari pengolahan pendahuluan, diperlukan pengolahan, jika limbah cair PCB ini langsung dibuang ke lingkungan maka akan merusak lingkungan. Maka dari itu dibutuhkan pengolahan limbah cair agar tidak membahayakan lingkungan.

Tabel 2. Kadar Cu pada plat baja dan plat Stainless pada jarak 1 cm

Jarak (cm)	Durasi (menit)	Kadar Cu (mg/liter)		Removal(%)	
		Plat Baja	Plat SS	Plat Baja	Plat SS
1	0	7579	7579	0.00%	0.00%
1	15	908.75	5441.5	88%	28%
1	30	473.25	3304	93.75%	56.40%
1	45	411.25	3208.75	94.57%	57.66%
1	60	348.75	3113.5	95.39%	58.68%

Sumber : Data Uji Laboratorium tahun 2015

Berdasarkan Tabel 2 kadar Cu dalam pengujian menggunakan plat baja mengalami penurunan dengan jarak yang sama 1 cm, dari pengujian awal limbah cair tanpa diolah terlebih dahulu konsentrasi Cu dalam filtrate yaitu 7579 mg/l. Setelah dilakukan pengolahan dengan elektrolisis dan menggunakan media plat baja pada

waktu 15 menit mengalami penurunan dengan konsentrasi 908,75 mg/l. Begitu juga dengan waktu 30 menit, 45 menit, dan 60 menit.

Pada dasarnya diketahui hasil pengujian seperti pada Tabel 2 menunjukkan sama-sama mengalami penurunan antara kandungan Cu pada plat stainless dengan kandungan Cu yang terdapat pada plat baja. Kandungan Cu pada plat stainless ini mengalami tingkat penurunan yang lebih rendah hal ini dikarenakan plat stainless tahan karat, sehingga Cu yang akan larut dalam elektrolit banyak yang menguap dan sebagian banyak gabung dengan Cl.

Berdasarkan pada Tabel 2 yang menunjukkan hubungan antara waktu dan konsentrasi pengujian limbah cair pada stainless yang sebagai elektroda. Tabel 2 menunjukkan penurunan konsentrasi pada waktu dari 15 menit sampai dengan 60 menit. Plat baja memberikan hasil yang lebih bagus dan lebih tinggi persen konsentrasi dari pada plat stainless, pH pada larutan elektrolit ini menunjukkan semakin naik dengan pH sekitar 5, dengan begitu pengolahan ini masih belum efektif jika limbah cair PCB langsung dibuang ke lingkungan, dikarenakan pH masih belum mencapai baku mutu (pH normal).

Berdasarkan pada Gambar Tabel 2 mengalami penurunan 88% pada waktu 15 menit, hal ini dikarenakan elektroda dialiri arus listrik antara katoda dan anoda. Pada dasarnya menurut (Raphl H, Petrucci, 1987) pada plat baja ini mengandung Fe pada anoda yang akan larut kedalam larutan elektrolit, sedangkan larutan elektrolit mengandung $CuCl_2$ yang akan terurai secara spontan. Ditinjau dari peristiwa ini, karena reaksi reduksi Cu berlangsung dikatoda (kutub negatif). Akibatnya katoda bermuatan negatif dan menarik kation - kation yang akan tereduksi menjadi endapan logam. Logam ini akan larut dan menempel pada katoda, karena logam Cu akan larut kedalam larutan elektrolit, sehingga Cu^{2+} akan menempel ke anoda. Menurut deret Volta Cu berada di sebelah kanan (H), maka akan lebih mudah mengalami reduksi (menangkap elektron). Cu^{2+} akan menempel di katoda plat baja sedangkan pada reaksi anoda ion $2Cl^-$ bergerak ke anoda melepas elektronnya dan sebagian ada yang gabung dengan Fe di anoda, sehingga plat baja pada anoda

beratnya menjadi berkurang dan pengurangan beratnya sama dengan berat Cu yang mengendap pada katoda. Maka dapat disimpulkan, konsentrasi Cu^{2+} dan Cl_2^- dalam larutan tetap selama masih ada anoda. Jadi Cu akan larut pada anoda pindah ke katoda. Jika ditinjau berdasarkan hasil removal 88%, maka anoda Cu terus menerus melarut dan katoda terus menerus terlapis Cu^{2+} . Begitu juga dengan hasil yang pada waktu 30 menit dengan removal 93.75%, 45 menit dengan removal 94.57% dan 60 menit dengan removal 95.39%, hal tersebut menunjukkan pengolahan pada elektrolisisnya sudah efektif dikarenakan kandungan pH mengalami kenaikan yang awalnya menunjukkan pH 1 setelah dilakukan pengolahan elektrolisis maka pH menjadi 4 sedangkan pada pH 4 jika langsung dibuang ke lingkungan masih belum efektif diakrenakan belum mencapai pH normal sehingga diperlukan pengolahan lebih lanjut.

Tabel 3. Kadar Cr total pada plat baja dan plat SS pada jarak 1 cm

Jarak (cm)	Durasi (menit)	Kadar Cr (mg/liter)	
		Plat Baja	Plat SS
1	0	0.33	0.33
1	15	0.336	0.412
1	30	0.478	0.494
1	45	0.495	3.935
1	60	0.513	7.375

Sumber : Data Uji Laboratorium tahun 2015

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 3 menunjukkan bahwa kandungan Cr total pada air limbah yang kondisi awal menunjukkan 0,33 mg/l mengalami kenaikan. Hal ini ditunjukkan pada hasil Tabel 3. Berdasarkan Tabel 3 pada dari waktu 0 menit sampai 15 menit mengalami kenaikan konsentrasi 0,33 mg/l sampai 0,336 mg/l. Peristiwa ini disebabkan karena plat baja mengandung Cr, begitu juga dengan limbah cair PCB. Sedangkan pada waktu 30 menit, 45 menit, dan 60 menit mengalami kenaikan konsentrasi hal ini disebabkan karena dalam elektrolisis pada plat baja unsur penyusun yang terdapat pada anoda (kutub positif) akan larut didalam elektrolit.

Ditinjau dari hasil pengujian pada Tabel 3 menunjukkan konsentrasi mengalami

kenaikan seperti yang ditunjukkan pada waktu 30 menit sampai 45 menit dengan konsentrasi 0,494 mg/l dan 3,935 mg/l. Factor ini disebabkan plat stainless ini sudah mengandung crom (Cr) yang mencapai 10,5 % sehingga jika plat stainless ini dimasukkan pada larutan elektrolit akan naik kadar crome (Cr). Pada dasarnya menurut Terori Deret Volta krom terletak disebelah kiri hidrogen (H), dalam deret volta disebutkan bahwa logam semakin ke kiri maka kurang reaktif (semakin mudah melepas electron) maka sifat reduktor makin kuat (mudah teroksidasi) dan logam merupakan reduktor yang semakin kuat (semakin mudah mengalami oksidasi). Dapat dilihat berikut ini pada Tabel 3 yang dihasilkan antara hubungan waktu dan konsentrasi.

Pada dasarnya konsentrasi yang terjadi pada krom total menggunakan stainless dengan menggunakan plat baja sama-sama mengalami kenaikan, yang dapat dilihat pada Tabel 3. Namun perbedaannya terletak pada perubahan pH, hasil yang ditunjukkan pada waktu 30 menit sampai 60 menit menunjukkan kenaikan konsentrasi dengan pH awal 1 maka pada konsentrasi 7,375 maka pH menjadi 5. Logam stainless merupakan logam yang tahan terhadap sifat korosi limbah cair PCB dimana pH larutan menunjukkan angka kisaran 1 pada pengenceran larutan 10 kali. Berbeda dengan logam baja, logam tersebut akan mengalami korosi pada saat dicelupkan pada larutan elektrolit limbah cair PCB. Logam baja juga memberikan ketahanan yang bagus terhadap asam walaupun tidak setahan logam stainless.

Tabel 4 Kadar Fe proses elektrolisis dalam plat baja pada jarak 1 cm

Jarak (cm)	Durasi (menit)	Kadar Fe (mg/liter)	
		Plat Baja	Plat SS
1	0	31.16	31.16
1	15	1898.25	32.3
1	30	2479.5	89.9
1	45	2630.15	185.7
1	60	2782.25	339.1

Sumber : Data Uji Laboratorium tahun 2015

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4 menunjukkan bahwa kandungan Fe pada air limbah yang kondisi awal menunjukkan 31,16 mg/l. Kemudian setelah limbah cair dielektrolisis dengan menggunakan plat baja, maka dalam waktu 15 menit mengalami kenaikan dengan kandungan limbah menjadi 1898,25 mg/l. Peningkatan ini disebabkan karena konsentrasi Fe yang terdapat pada limbah cair PCB tinggi karena elektroda larut ke dalam larutan elektrolit, larutan elektrolit ini bersifat korosif. Berdasarkan waktu 30 menit dengan kadar 45 menit dan 60 menit mengalami kenaikan secara bertahap, hal ini ditunjukkan pada Tabel 4.

Pada hasil pengujian limbah cair yang ditunjukkan pada Tabel 4, Tabel hubungan antara waktu dan konsentrasi menunjukkan bahwasannya kadar Fe dalam limbah cair PCB mengalami kenaikan secara bertahap. Hal ini dikarenakan besi (Fe) merupakan jenis elektroda yang tidak aktif hanya dapat bereaksi di anoda, sehingga produk yang dihasilkan di anoda adalah ion elektroda yang larut (sebab logam yang tidak aktif mudah teroksidasi). Menurut (Raphl H, Petrucci, 1987) pada permukaan logam atau plat baja berfungsi sebagai elektroda maka akan terjadi oksidasi seperti pada reaksi $Fe(s) \rightarrow Fe^{2+} + 2e^-$. Reaksi ini menunjukkan electron yang dilepaskan oleh besi mereduksi oksigen di dalam air dan karena Fe akan larut kedalam larutan elektrolit, sehingga mengalami oksidasi menjadi Fe^{2+} dari permukaan logam yang sama. Besi (Fe) oksidasi ini dikenal sebagai karat (rust), karena kandungan limbah cair PCB banyak yang mengandung Fe. Tabel 4 menunjukkan bahwa pada plat baja dan plat stainless sama - sama mengalami kenaikan hanya saja perbedaannya, pada plat baja kandungan Fe nya lebih tinggi daripada plat

stainless sehingga plat baja lebih cepat korosi dan plat stainless lebih tahan korosi atau karat. Berdasarkan (Petrucci, 1989) bahwa komposisi stainless mengandung 16% krom, 8% nikel dan 76%. Sedangkan pada plat baja kadar besi (Fe) 3,5 %, kadar karbon (C) 1,7%. Akan tetapi untuk penangkapan massa kadar tembaga (Cu) pada limbah cair PCB yang paling baik adalah plat baja. Karena deposit tembaga pada katoda dalam jumlah besar adalah indikasi keberhasilan proses elektrolisis. Bahwasannya, sudah dibahas diatas jika timbulnya deposit tembaga pada katoda suatu saat akan berhimpit dengan anoda. Pada menit ke 15 deposit tembaga mulai tampak terkumpul banyak hingga menit ke 60. Pada menit ke 60 kecepatan elektrodposisi mulai melambat, hal ini karena pada katoda mulai terbungkus *sponge* tembaga. *Sponge* tembaga yang terbentuk menghambat perjalanan electron - electron yang akan terlepas hingga deposisi logam pada katoda akan terhambat.

Berdasarkan hasil pengujian yang ditunjukkan pada Gambar 2, Gambar 3 Gambar 4 diatas tampak bahwasannya sisa tembaga dalam filtrate dalam proses elektrolisis mengalami penurunan, dengan kata lain presentase removal tembaga (% R) dalam limbah mengalami peningkatan seiring dengan lamanya proses elektrolisis. Namun pada akhirnya jumlah tembaga tersebut akan konstan karena larutan tidak lagi mengandung ion tembaga. Hal itu disebabkan Cu (tembaga) lepas dari elektroda anoda (+) akibat direduksi, selain itu kelebihan elektron maka atom Cu teroksidasi larut ke elektroda katoda (-), maka disinilah atom Cu (tembaga) menjadi kehilangan elektronnya.

Berdasarkan persamaan rumus satu dan dua, maka dari perhitungan tersebut diperoleh data seperti pada Tabel 5 seperti berikut ini :

Tabel 5 perbandingan antara logam yang terdeposisi dari segi praktik dan teori

Waktu (menit)	berat logam yang terdeposisi (gr)		Massa logam yang terdeposit (massa yang hilang) (gr)
	Praktek	teori	
15	1,422	1,175	0,159
30	1,421	1,175	0,255
45	1,433	0,881	0,159
60	1,446	1,175	0,27

Sumber : Data Uji Laboratorium tahun 2015

Perbedaan jumlah atau massa tembaga yang terdeposisi pada elektroda plat baja beberapa hal :

1. Massa tembaga yang terdeposisi pada waktu 60 menit atau detik ke 3600 adalah karena massa yang terdeposisi pada 1 tersebut hanya sekitar 95 % hingga 98%
2. Secara teoritis massa tembaga yang terdeposisi sekitar 0,881 - 1,175 gr. Namun hanya sekitar 0,159 - 0,27 gr yang terdeposisi secara realistik. Hal ini diakibatkan karena ada sejumlah energi listrik yang dialirkan dalam elektrolit yang digunakan untuk menguraikan ikatan ion dan melepaskan Cl_2 pada anoda. Jumlah Cl_2 yang dilepaskan sekitar 0,21 gr dan sejumlah energi listrik pula yang digunakan untuk menaikkan temperature larutan elektrolit. Ditinjau berdasarkan logam yang terdeposit maka menunjukkan bahwa peningkatan temperature hingga mencapai 30-45°C.
3. Efisiensi alat juga turut menentukan massatembagayang dapat terelektrodeposisi pada katoda. Efisiensi alat yang buruk hanya akan mempertinggi biaya operasional proses. Ditinjau berdasarkan pada Tabel 5 hasil penelitian ini, dari hukum Faraday persamaan (2) yang menyatakan jumlah logam yang akan elektrodeposisi pada katoda dengan arus (Ampere) selama t menit dapat dihitung secara detik. Namun pada umumnya perhitungan teoritis ini selisih hanya 10% dari praktik, dari selisih berat logam terdeposisi antara praktek dan teori ini digunakan untuk menaikkan temperature. Pada dasarnya penaikan maupun penurunan temperature akan

berpengaruh pada proses berlangsungnya elektrolisis.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, Hiskia. 1992. *Elektrokimia dan Kinetika Kimia*. Bandung : PT. Citra Aditya Bakti
- Anonim. 1986. *Pollution Control Facilities For Small Electroplating Plants - UNEP DESIGN MANUAL*. United Nation EnvironmentPrograme, Bangkok - Thailand
- _____. 2009. *Undang - Undang Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2009 Tentang Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*. Kementrian Hukum Dan Hak Asasi Manusia Republik Indonesia . Jakarta tanggal 20 September 2011
- Castro, LA. ;A. H Martins. 2009. *Recovery of tin and copper by recycling of Printed circuit boards from obsolete computers*, *Beaz. J. Chem. Eng. vol.26 no.4 Sao Paulo Oct/Dec, dan ENVIRONMENTAL ENGINEERING*. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-663220090400003>
- Cifton Potter, Aulia Gani. 1994. *Sumber, Pengendalian dan Baku Mutu Limbah Cair Berbagai Industri Indonesia*. Kementrian Lingkungan Hidup dan Dhalhousie University Canada
- Exenfelder. 1989. *Industrial Waste Water Pollution Control*. 2nd edition, New York : Mc. Graw Hill Company
- Heryando P. 2004. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Jakarta : Rineka Cipta
- Maria Paola Luda. 2008. *Recycling of Printed Circuit Board Dipartimento in Chimica IF M dell*. Universitas di TorinoItaly, http://cdn.intechopen.com/pdf/18491/InTechRecycling_of_printed_circuit_boards.pdf
- Metcalf and Eddy. 2003. *Wastewater Engineering - Treatment and Reuse*. Fourth Edition. New York : Mc Graw Hill Company
- Perry's. 1984. *Chemical Engineers' Handbook, Sixth Edition*. University of Kansas : Mc Graw Hill Company
- Petrucci, R. H. 1989. *Kimia Dasar Prinsip dan Terapan Modern Edisi Keempat*. Jakarta : Erlangga. P. 30

- Raplh H, Petrucci. 1987. *Kimia Dasar Prinsip dan Terapan Modern*. Surabaya : Erlangga
- Raymond E. Kirk.1990. *Encyclopedia Of Chemical Thecnology*.Vol.6. New York : The Interscience Ensclopedia. Inc
- Reynold and Ricard. 1996. *Unit Operations And Processes In Environmental Engineering*. Second Edition, Cengage Learning:United States
- Sobri S., A., H.M.Ali. 2011. *Chemical Characterisation of Printed Circuit Board Wastewater*. Departement of Chemical and Environmental Engineering. Facultyo\of Engineering,. University Putra Malaysia, Serdang, Selangor, Malaysia.,<http://iopscience.iop.org/1757-899X/17/1/01202>.
- Suharno Pikir. 1989. *Kimia Dasar*. Surabaya : Airlangga University Press

Under Review