

REDUKSI TEMBAGA DALAM LIMBAH CAIR PROSES ETCHING PRINTING CIRCUIT BOARD (PCB) DENGAN PROSES ELEKTROKIMIA

COPPER REDUCTION IN PRINTING CIRCUIT BOARD (PCB) ETCHING WASTEWATER WITH ELECTROCHEMISTRY

Handaru Bowo Cahyono dan Nurul Mahmida Ariani

Baristand Industri Surabaya, Kementerian Perindustrian

Jl. Jagir Wonokromo 360, Surabaya - Indonesia

e-mail: *handaru_bc@yahoo.com*

diajukan: 02/07/2014, direvisi: 04/08/2014, disetujui: 26/08/2014

ABSTRACT

Has conducted preliminary studies of copper in the etching process wastewater Printing Circuit Board (PCB) with electrochemical method / electrolysis. The main content of this liquid waste is dissolved copper at levels of about 12 %. Effective electrolysis process carried out for 60 minutes by using three (3) a variable distance between the electrodes is 1 cm , 2 cm and 3 cm , and use three (3) different electrodes are stainless steel plates, steel plates and aluminum plates are done with the flow around 2 to 6 Amp at a voltage of 6.0 to 12 Volts. Results of analysis of liquid waste after the electrolysis process showed that there is a relationship between the distance between the electrodes and the duration of the process of electrolysis to removal percentage of copper in the wastewater , which as far as 2 cm electrode spacing provide the highest removal percentage and the greater the distance , the electrode electrolysis process lasted less effective. Meanwhile, the steel plate is the best material to use , providing a fairly high percent allowance of about 71.2 % at minute 80. copper levels obtained at the cathode having a purity of up to 79.83 % , far above the mud purity redox process results without electrolysis which is only 63.4 %. Results of laboratory tests on the filtrate after neutralization with NaOH showed copper removal percentage was 99.9 % . The cost of procurement of chemicals released for processing without electrolysis around Rp.3.861 , - / liter and if carried out by electrolysis around Rp.1.508 , - / liter but still added to the cost of electricity for electrolysis of Rp.384 , - / liter.

Keywords: PCB wastewater, stainless steel , iron , electrolysis.

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian penyisihan tembaga dalam limbah cair proses *etching Printing Circuit Board* (PCB) dengan metode elektrokimia/elektrolisis. Kandungan utama limbah cair ini adalah tembaga terlarut dengan kadar sekitar 12%. Proses elektrolisis efektif dilakukan selama 60 menit dengan menggunakan 3 (tiga) variabel jarak antar elektroda yaitu 1 cm, 2 cm dan 3 cm serta menggunakan 3 (tiga) elektroda yang berbeda yaitu Pelat stainless steel, Pelat besi dan Pelat aluminium yang dilakukan dengan arus sekitar 2 hingga 6 Amp pada tegangan 6,0 hingga 12 Volt. Hasil analisa terhadap limbah cair setelah proses elektrolisis menunjukkan bahwa terdapat hubungan antara jarak antar elektroda dan durasi proses elektrolisis terhadap persentase penyisihan tembaga dalam limbah cair, dimana jarak elektroda sejauh 2 cm memberikan persentase penyisihan paling tinggi dan semakin jauh jarak elektroda maka proses elektrolisis berlangsung semakin tidak efektif. Sementara itu Pelat besi baja adalah bahan yang paling baik digunakan, memberikan persen penyisihan yang cukup tinggi sekitar 71,2% pada menit ke 80. Kadar tembaga yang diperoleh pada katoda memiliki kemurnian hingga 79,83% jauh di atas kemurnian lumpur hasil proses redoks tanpa elektrolisis yang hanya 63,4%. Hasil uji laboratorium terhadap filtrat setelah proses netralisasi dengan NaOH menunjukkan persentase penyisihan tembaga mencapai 99,9%. Biaya pengadaan bahan kimia yang dikeluarkan untuk pengolahan tanpa elektrolisis sekitar Rp.3.861,-/liter dan jika dilakukan dengan elektrolisis sekitar Rp.1.508,-/liter namun masih ditambah biaya listrik untuk elektrolisis sebesar Rp.384,-/liter.

Kata kunci: Limbah cair PCB, elektrolisis, stainless steel, besi.

PENDAHULUAN

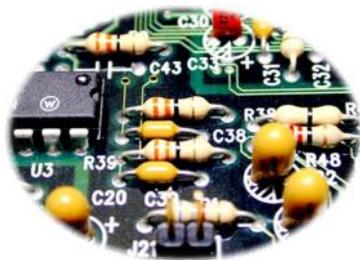
Industri papan sirkuit cetak atau lazim disebut *Printing Circuit Board* (PCB) adalah

salah satu industri penunjang kluster industri Mesin Listrik dan Peralatan Listrik - Industri elektronika konsumsi (*Kebijakan Pembangunan Industri Nasional*—

Departemen Perindustrian, 2005). Industri PCB tumbuh dan berkembang seiring dinamika yang menuntut produk elektronika memiliki bentuk yang kompak, ringkas dan sederhana. Dilaporkan peningkatan permintaan papan PCB dunia mencapai 8,7% pertahun [Perry's Chemical Engineers' Handbook, 2008].

Printing Circuit Board (PCB) atau Papan sirkuit cetak adalah sebuah papan yang berisi jalur / sirkuit konduktor yang menghubungkan komponen elektronik satu dengan komponen elektronik lainnya tanpa kabel. Papan PCB dibutuhkan hampir disetiap rangkaian peralatan elektronika, missal pada TV, Radio, rangkaian lampu LHE, HP dan sebagainya.

Material PCB berbahan isolator mengandung 40% bahan logam, 30% material inorganik dan 30% lagi adalah material keramik [10].



Gambar 1. Papan PCB dan komponen elektronika

Sumber: <http://www.motionxcorp.com/through-hole-printed-circuit-board-assembly-pcb.html>

Beberapa tahapan kegiatan dilakukan dalam proses pembuatan sirkuit. Diawali dengan pemotongan papan sesuai ukuran yang telah ditetapkan kemudian dilakukan pembersihan terhadap bahan yang dapat mengganggu proses sablon misalnya lapisan minyak dan selanjutnya dilakukan proses sablon dimana pada tahap ini jalur mulai dibentuk. Tahap selanjutnya adalah proses *etching* atau proses pengelupasan lapisan tembaga yang tidak diperlukan. Setelah proses *etching* dilanjutkan dengan proses pencucian dan proses pengeboran dimana komponen – komponen elektronik akan ditempatkan. Pemeriksaan akhir terhadap jalur / sirkuit dilakukan sebelum dilakukan pengemasan.

Umumnya rangkaian proses pembentukan sirkuit di atas tidak

menghasilkan limbah kecuali proses *etching*.

Proses *etching* adalah proses pengikisan lapisan tembaga pada lembaran papan PCB. Dalam proses ini papan PCB yang telah disablon direndam dalam larutan HCl.

Pada proses *etching* pada papan PCB akan dihasilkan limbah cair dengan kandungan bahan pencemar yang sangat tinggi dan tergolong dalam karakteristik B3. Volume limbah cair proses dipengaruhi oleh kapasitas produksi dan perilaku industri itu sendiri. Untuk industri skala IKM dengan kapasitas 10 – 15 lembar papan per hari jumlah limbah cair pekat yang dilepaskan kisaran 20 hingga 50 liter per hari.

Dari hasil pengujian laboratorium terhadap limbah cair sisa proses *etching* menunjukkan karakteristik yang sangat ekstrim dengan angka keasaman kisaran 0 – 1, konsentrasi tembaga yang dikandungnya sekitar 10% - 14% (140.000 mg/liter). Sehingga jika dihitung jumlah tembaga yang terlarut dalam limbah cair minimal 4.000 gram atau 4 kg dalam sehari. Secara visual, bau asam (HCl) sangat terasa serta warna larutan hijau pekat kehitaman [Handaru B.C., 2013].

Permasalahannya adalah bahwa dengan kondisi tersebut jika pengolahan dilakukan dengan proses kimiawi (terlebih jika menggunakan $\text{Ca}(\text{OH})_2$) akan membutuhkan banyak sekali bahan alkali yang digunakan untuk proses netralisasi dan pengendapan bahan cemar yang berakibat terhadap tingginya volume endapan lumpur yang dihasilkan.

Jika limbah tersebut dilepaskan ke lingkungan dengan tanpa penanganan maka badan air sekitar lokasi industri akan berdampak langsung dan berpotensi mengalami penurunan kualitas. Antara lain penurunan angka keasaman (pH) badan air, peningkatan cemaran logam berat, serta peningkatan angka COD. Konsentrasi COD di atas angka 800 mg/liter tergolong tinggi [Metcalf & Eddy, 2003].

Lebih jauh, akan sangat berbahaya jika tembaga masuk dalam siklus makanan / rantai makanan manusia. Keracunan akibat paparan tembaga pada manusia akan mengganggu fungsi otak, penurunan kerja

ginjal serta pengendapan tembaga (Cu) pada kornea mata.

Maka merujuk pada UU RI.No.32/2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup; maka limbah cair industri PCB harus dilakukan pengelolaan / pengolahan sebelum limbah cair dilepas ke lingkungan.

Umumnya industri menyukai pengolahan limbah cair yang sederhana dan tidak membutuhkan biaya operasional yang tinggi. Pembubuhan bahan alkali dalam tangki berpengaduk adalah salah satu cara pengolahan limbah cair yang paling sederhana [Handaru B.C., 2011]. Pengendapan tembaga pada pH 8,5 dengan Basa kuat NaOH atau Ca(OH)₂ lebih disukai karena kedua bahan tersebut mudah diperoleh dipasar [Eckenfelder Jr. 1999].

Endapan lumpur tembaga hidroksida yang dihasilkan akan membawa permasalahan utamanya tempat penyimpanan / penimbunan. Karakteristiknya yang tidak banyak membawa manfaat mengakibatkan lumpur hanya dibuang sebagai limbah padat dan memerlukan biaya kembali dalam pemusnahannya.

Elektrolisis terhadap limbah cair proses *etching* dapat menjadi suatu pilihan / alternatif pengelolaan, hal ini karena karakteristik limbah cair tersebut sangat memenuhi persyaratan sebagai larutan elektrolit dan disamping itu produk elektrolisa umumnya memiliki kemurnian yang cukup tinggi sehingga berpotensi dapat dimanfaatkan kembali.

Beberapa referensi menyebutkan proses pengolahan skala laboratorium terhadap limbah cair kandungan/unsur tembaga dengan memanfaatkan proses elektrodposisi pada elektroda Platina (Pt) memberikan hasil yang efektif, persentase removal berkisar antara 96,88 – 99 %.

Namun ternyata dalam aplikasi dilapangan proses ini memerlukan biaya operasional yang sangat mahal terutama pengadaan logam platina sehingga industri enggan melakukan pengolahan limbah dengan model ini. Industri lebih menginginkan proses pengolahan limbah yang murah dan terjangkau dengan hasil outlet limbah cair yang optimal.

Atas dasar hal tersebut di atas maka penelitian ini bermaksud :

1. merencanakan proses pengolahan limbah cair industri PCB dengan menggabungkan proses elektrolisis dan proses redoks.
2. mendapatkan elektroda yang paling efektif dan optimal.

Dimana keduanya bertujuan untuk menekan biaya operasional IPAL utamanya penyediaan bahan kimia

Hipotesanya adalah bahwa limbah cair dengan karakteristik elektrolit dapat dielektrolisis untuk mengendapkan logam terlarut pada kutub katoda.

Elektrodposisi massa tembaga pada limbah cair PCB menunjukkan adanya hubungan antara arus listrik dan perubahan massa kimia. Pada peristiwa ini hukum yang digunakan adalah hukum Faraday.

1. Hukum I: Jumlah dari tiap elemen atau grup dari elemen-elemen yang dibebaskan pada kedua anoda dan katoda selama elektrolisa sebanding dengan jumlah listrik yang mengalir dalam larutan.
2. Hukum II: Jumlah dari arus listrik bebas sama dengan jumlah ion atau jumlah substansi ion yang dibebaskan dengan memberikan sejumlah arus listrik adalah sebanding dengan berat ekivalennya.

Hukum II membuktikan terdapat hubungan antara reaksi kimia dan jumlah total listrik melalui elektrolit.

Pada akhir penelitian akan dibandingkan kualitas effluent masing-masing penggunaan anoda. Sementara itu akan dibandingkan pula produk outlet pengolahan limbah cair tanpa proses elektrolisis sebagai blangko dengan produk netralisasi dari perlakuan proses elektrolisis.

Besarnya arus yang diperlukan untuk memindahkan sejumlah massa (gram) atau yang diendapkan oleh 1 Faraday (gram ekivalen), mengikuti persamaan:

$$G = \frac{I \cdot t}{96.500} \times \frac{Ar}{valensi} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana : G = Berat logam terdposisi (gram)
 I = Rapat arus (Ampere)
 t = Waktu (detik)
 Ar/Mr = Massa atom/molekul relatif

Sehingga dari persamaan (1) tersebut dapat ditentukan jumlah logam yang akan dielektrodeposisi pada katoda dengan arus A (*Ampere*) selama t detik yang dihitung secara teoritis.

METODE

Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: limbah cair pekat proses *etching*, aquadest, kertas saring, Pelat logam besi / baja, Pelat stainless steel, Pelat aluminium dan kertas pH dan larutan NaOH.

Alat

Sementara peralatan ukur dan penunjang yang digunakan antara lain pH meter, rectifier, multimeter / Tang ampere, stopwatch, bak elektrolisis, gelas ukur, ember dan pengaduk. Variabel bebas yang dipilih adalah durasi proses elektrolisis, jarak antar elektroda yaitu 1, 2 dan 3 cm.

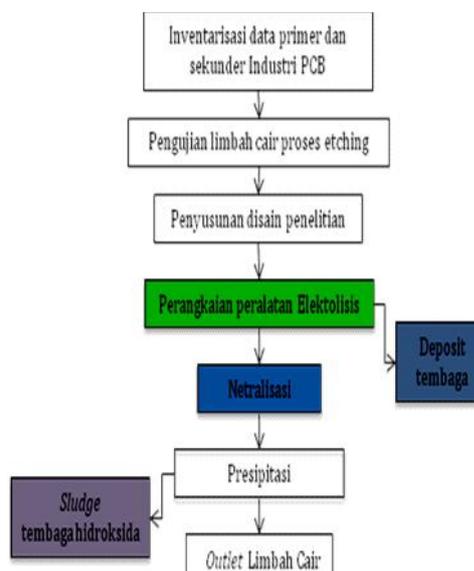
Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Baristand Industri Surabaya pada Februari hingga Nopember 2013. Penelitian ini menggunakan 3 (tiga) Pelat logam yang berlainan yang digunakan sebagai elektroda yaitu:

- Pelat Stainless steel ketebalan 1 mm.
- Pelat Besi / baja (tanpa lapisan seng) ketebalan 1 mm.
- Pelat Aluminium ketebalan 1 mm.

Pertimbangan penggunaan ketiga bahan ini adalah karena sangat mudah diperoleh bahkan dipasar besi tua, mudah dalam pengoperasian dan perawatan serta harganya yang relatif murah. Dalam deret volta ketiga jenis bahan tersebut juga memiliki angka potensial elektroda yang sangat memadai.

Penelitian ini dibagi dalam 3 (tiga) tahapan yaitu: tahap penyiapan limbah cair, tahap elektrolisis dan tahap netralisasi yang secara keseluruhan digambarkan dalam skema penelitian di bawah ini.



Gambar 2. Metode Penelitian

Prinsip kerja elektrolisis yaitu elektrodeposisi tembaga dengan mengalirkan arus listrik searah pada elektroda yang dicelup dalam larutan elektrolit.

Pada tahap penyiapan larutan limbah dilakukan pengenceran terhadap limbah pekat hingga konsentrasi turun menjadi minimal 1 % atau kisaran 10.000 mg/liter (pengenceran 10 kali).

Pada tahap elektrolisis, elektroda dicelupkan dalam limbah cair dan diberikan arus listrik yang dibangkitkan dari rectifier selama durasi waktu tertentu.

Sebelum Pelat elektroda digunakan, Pelat dibersihkan terlebih dahulu dari berbagai bahan yang diperkirakan akan menghambat berlangsungnya proses elektrolisis.

Sisa tembaga dalam filtrat dapat diketahui dari hasil pengujian laboratorium. Hasil proses elektrolisis kemudian dinetralkan dengan NaOH yang merupakan tahapan terakhir penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian laboratorium dilakukan untuk mengetahui karakteristik limbah cair dari proses *etching*. Dari hasil pengujian limbah cair tersebut diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 1. Karakteristik limbah cair proses *etching* papan PCB

Parameter	Limbah awal (mg/liter)
Besi (Fe)	6.710
Tembaga (Cu)	112.275
Zink (Zn)	21,425
Timbal (Pb)	0,4
Nikel (Ni)	3,15
pH	0,14
Crom total (Cr)	3,075

Dari hasil pengujian di atas diperoleh data bahwa konsentrasi tembaga yang terlarut dalam limbah cair mencapai 112.275 mg/liter atau sekitar 11,22 %. Larutan tersebut adalah larutan sisa proses *etching* yang telah dibuang. Sebelumnya larutan ini dipergunakan berulang kali sehingga jenuh oleh unsur tembaga. Perawatan larutan selama digunakan hanya diterapkan atau disaring saja. Tidak ada peralatan kontrol yang digunakan hingga diputuskan larutan *etching* tidak dapat lagi dimanfaatkan dan harus dibuang. Itulah sebabnya kadar tembaga dalam limbah cair proses *etching* sangat tinggi dan fluktuatif.

Pada penelitian ini limbah cair yang telah diencerkan dialiri arus listrik melalui elektroda. Arus listrik mengalir dari kutub positif masuk dalam larutan elektrolit. Sementara dalam waktu bersamaan ion Cu^{2+} mengalir menuju kutub negatif dan menempel pada katoda.

Berapakah volume pengenceran yang efektif. Dalam penelitian ini tidak dipilih sebagai variabel penelitian. Namun konsentrasi bahan pencemar (Cu) dalam limbah cair dipilih sebagai suatu variabel tetap.

Konsentrasi larutan elektrolit yang terlalu tinggi atau pekat oleh ion logam dalam hal ini Cu^{2+} mengakibatkan proses elektrolisis berlangsung tidak efektif. Hal karena hambatan listrik juga semakin besar dan sebaliknya, semakin kecil hambatan listrik maka arus yang mengalir melalui larutan elektrolit akan semakin besar. Hambatan listrik berbanding terbalik dengan kuat arus listrik.

$$i = \frac{E}{R} \dots\dots\dots (2)$$

Dimana : I = Arus listrik (Ampere)
 E = Beda potensial (Volt)
 R = Resistansi (Ohm)

Itulah sebabnya mengapa larutan pekat pada limbah cair proses *etching* PCB dengan konsentrasi tembaga sangat tinggi hingga 140.000 mg/liter perlu di encerkan hingga pada konsentrasi yang efektif.

Dalam konsentrasi yang pekat tersebut logam tembaga terlarut akan berbentuk ion Cu^{2+} . Ion logam positif tersebut akan menempati setiap ruangan dalam larutan limbah. Sehingga semakin tinggi konsentrasi larutan maka akan semakin tinggi pula kerapatan yang dimiliki. Dengan kerapatan ion tembaga yang tinggi ini mengakibatkan ion semakin tidak leluasa dalam pergerakannya yang pada akhirnya akan menghambat laju kecepatan elektrodeposisi pada katoda.

Sehingga proses pengenceran larutan diperlukan untuk menurunkan kerapatan ion yang berdampak terhadap keleluasaan pergerakan ion – ion dalam larutan tersebut.

Namun demikian jumlah bahan pengencer / pengenceran yang terlalu tinggi juga tidak akan membawa manfaat terhadap berlangsungnya proses. Jumlah air pengencer yang terlalu besar mengakibatkan volume limbah cair juga semakin besar. Hal ini akan berpengaruh pada dimensi peralatan proses yang digunakan akan semakin besar dan berkorelasi langsung terhadap ongkos. Sehingga dipilih dalam penelitian ini konsentrasi larutan elektrolit ($CuCl_2$) dalam kisaran 10.000 mg/liter.

Dari hasil analisa laboratorium terhadap filtrat hasil elektrolisis dengan menggunakan katoda besi pada jarak antar elektroda sejauh 2 (dua) centimeter dan pada menit ke 40 ditunjukkan dalam Tabel 2.

Dari salah satu data awal ini dapat dievaluasi bahwa pada proses elektrolisis selama 40 menit dengan menggunakan elektroda besi persentase removal berbagai bahan cemar telah mengalami penurunan yang cukup signifikan. Kandungan Besi turun 19,2%, Tembaga turun 38,01% dan lain sebagainya. Sedangkan angka Total Suspended Solid (TSS) justru mengalami peningkatan. Hal ini terjadi karena pada masa tersebut mulai terbentuk suspended solid pada larutan elektrolit akibat terdosisinya berbagai ion terlarut menjadi senyawa oksida. Hal ini sangat wajar dan

dapat dijadikan tolok ukur keberhasilan proses elektrolisa.

Tabel 2. Hasil uji filtrat proses elektrolisa 40 menit dengan katoda besi jarak 2 cm.

No.	Parameter	Hasil analisa (mg/liter)
1.	Besi (mg/liter)	542,2
2.	Tembaga (mg/liter)	7.521,8
3.	Zink (mg/liter)	3,10
4.	Timbal (mg/liter)	0,04
5.	Nikel (mg/liter)	0,26
6.	pH	1,4
7.	TDS (mg/liter)	3.945,60
8.	TSS (mg/liter)	2.070,00
9.	Crom total (mg/lt)	0,10

Lebih jauh hasil pengujian laboratorium terhadap limbah cair setelah dilakukan proses elektrolisis disajikan dalam bentuk grafik. Grafik 1 hingga 3 menunjukkan hubungan antara durasi proses elektrolisis terhadap jarak antar elektroda pada Gambar 3.

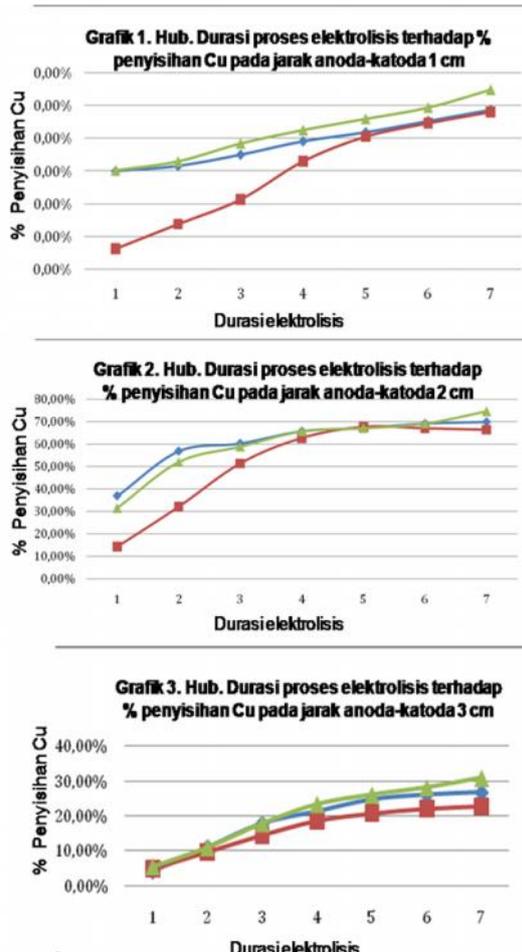
Dari ketiga gambar grafik di atas dapat diperoleh data bahwa proses elektrolisis berlangsung dengan efektif pada jarak elektroda antara 1 cm hingga 2 cm.

Tampak dalam grafik, pada awal proses elektrolisis hingga menit ke 40 hingga 60, proses elektrolisis berlangsung dengan baik untuk semua perlakuan jarak dan laju elektrodeposisi tembaga semakin meningkat hingga menit 80 dan 100 terutama pada grafik 2 (perlakuan jarak antar elektroda 2 cm)

Pada grafik 1 (jarak elektroda 1 cm) pada menit ke 80 untuk seluruh katoda dari hasil pengujian filtrat telah menunjukkan grafik yang melandai atau konstan. Persentase removal tembaga pada menit ke 80 telah mencapai angka kisaran 50% hingga 56,6%.

Hal ini karena jarak tempuh elektron dari kutup positif (anoda) menuju kutup negatif (katoda) sangat pendek, sehingga laju alir elektron makin singkat. Jarak antar elektroda akan berpengaruh terhadap

keberhasilan proses elektrolisis. Dari hasil pengujian kuat arus dengan tang ampere diketahui hingga menit ke 40 arus yang mengalir sekitar 1,3 Ampere dan terjadi peningkatan hingga 2,2 Amp pada menit ke 60.



Gambar 3. Grafik hubungan antara durasi proses elektrolisis terhadap jarak antar elektroda

Namun ternyata pada jarak anoda – katoda 2 cm persentasi removal tembaga bahkan jauh lebih tinggi hingga mencapai 63% hingga 68%.

Hal ini karena terdapat ruang yang cukup antar elektroda untuk menampung deposit tembaga yang terbentuk. Pada saat proses elektrolisis berlangsung akan terbentuk gelembung gas H₂ yang terlepas dari anoda. Sebagian gelembung gas tersebut kemudian terjebak dalam deposit tembaga yang terbentuk dan mengapung pada permukaan larutan elektrolit. Jika gelembung gas yang terbentuk semakin

banyak mengakibatkan gelembung gas tidak dapat terbebas dari larutan elektrolit maka akan menghalangi proses transfer elektron atau perpindahan elektron karena banyak terdapat ruang kosong akibat gelembung gas dan deposit tembaga yang terbentuk. Dengan kata lain bahwa media antar elektroda tak lagi terisi oleh larutan elektrolit. Hal inilah yang menghambat laju proses elektrolisis.

Semakin jauh jarak antara anoda dan katoda, proses elektrolisis juga berlangsung tidak efisien. Pada grafik 3 dengan jarak 3 cm antar elektroda hingga menit ke 240 persentase removal hanya menunjukkan kisaran 20 hingga 30 % saja.

Pada menit ke 80 dalam gambar grafik 1, 2 dan 3 menunjukkan kesamaan karakteristik yaitu % removal tembaga dalam limbah cair tidak lagi berlangsung efektif yang ditandai dengan garis grafik yang telah mulai melandai.

Pada akhir proses elektrolisis warna larutan limbah akan berubah. Warna biru terang larutan tembaga akan menjadi semakin pudar dari waktu ke waktu. Hal ini terjadi karena sebagian besar ion tembaga telah terambil dari larutan sehingga tidak lagi memberikan warna yang dominan terhadap limbah cair.

Karena ketika proses elektrolisis berlangsung, Cu^{2+} tereduksi menjadi Cu pada bagian katoda. Tembaga yang menempel pada permukaan katoda berwarna merah kecoklatan ^[8].



Gambar 4. Deposit tembaga pada katoda
Sumber: Handaru, 2013

Secara teoritis perhitungan besarnya arus yang digunakan dan dibangkitkan dari peralatan rectifier dalam proses elektrolisis mengacu pada Hukum Faraday dimana dalam persamaan tersebut angka atau massa bahan logam (tembaga) yang akan

dipindahkan / dielektrodeposisi telah terlebih dahulu diketahui.

$$G = \frac{I \cdot t}{96.500} \times \frac{Ar / Mr}{valensi} \quad \dots\dots (3)$$

Dimana : G = Berat logam terdepositasi (gram)
I = Rapat arus (Ampere)
t = Waktu (detik)
Ar/Mr = Massa atom/molekul relatif

Dengan persamaan (3) tersebut dapat dihitung jika:

G = 11,22 gram
t = 14.400 detik (240 menit)
Masa atom relatif tembaga = 63,5
Valensi = 2

$$I = \frac{(G \times 96.500)}{(t \times 32)}$$

$$I = \frac{(11,22 \text{ gram} \times 96.500 \text{ coulomb})}{(3600 \text{ detik} \times 32)}$$

Dari perhitungan persamaan di atas, maka kuat arus yang harus diberikan pada larutan elektrolit / limbah cair sekitar 2,4 ampere. Artinya adalah bahwa konsumsi kuat arus ini adalah jumlah arus listrik yang diperlukan untuk mengambil habis seluruh tembaga yang terlarut dalam limbah cair. Sementara hasil pengukuran tegangan menunjukkan angka 6 hingga 7 Volt.

Namun jika dilihat dari gambar grafik 1 hingga 3 juga menunjukkan bahwa proses elektrolisis tidak lagi berjalan dengan baik pada menit 60 utamanya ke 80 dan 100. Dari ketiga grafik di atas menunjukkan perolehan tembaga yang hampir konstan sejak menit ke 80 atau 100. Disisi lain menunjukkan bahwa pada masa tersebut pH larutan elektrolit telah mengalami penurunan kisaran angka 3 hingga 4.

Kuat arus yang ditunjukkan oleh peralatan Tang Ampere pada masa-masa berikutnya bahkan dapat mencapai angka 2,7 hingga 2,8. Namun demikian proses elektrodeposisi terlihat stagnan dan tak lagi terjadi perubahan yang mencolok terhadap konsentrasi tembaga dalam limbah cair (larutan elektrolit) yang berarti juga tidak lagi terjadi perubahan massa yang signifikan yang terjadi pada kutub katoda.

Hal ini terjadi karena sebagian energi yang diberikan ternyata tidak dimanfaatkan

dalam proses elektrodeposisi namun justru berubah menjadi panas yang ditandai oleh peningkatan suhu larutan elektrolit. Peningkatan temperatur larutan telah mulai tampak sejak 1 (satu) jam proses berlangsung.

Dari gambar grafik di atas juga tampak terlihat bahwa logam aluminium memberikan hasil penyisihan tembaga yang paling tinggi pada proses elektrolisis. Bahkan pada jarak 1 cm, Pelat aluminium tampak telah memulai aktifitasnya dengan cepat dan hingga proses elektrolisis dihentikan, Pelat aluminium tampak memberikan nilai yang paling tinggi pada semua jarak yang diberikan.

Hal ini mengikuti hukum Faraday yang ke dua. Jumlah massa aluminium yang dibebaskan akan sebanding dengan kuat arus yang mengalir dan sebanding pula dengan elektrodeposisi yang diperoleh. Hal ini juga ditunjang oleh logam aluminium adalah golongan logam yang sangat mudah terkena korosi oleh larutan asam. Sementara itu tidak demikian dengan Pelat besi maupun stainless steel.

Jika dilihat dari data dan grafik di atas, maka Pelat aluminium memberikan hasil terbaik. Akan tetapi pengendapan logam aluminium tidaklah mudah karena aluminium masuk dalam golongan logam amfotir. Golongan logam amfotir adalah logam yang memiliki kemampuan dapat bereaksi kepada asam maupun basa sehingga sangat sulit dalam penanganannya.

Pada tahap netralisasi, larutan elektrolit sisa proses elektrolisis dinetralkan dengan NaOH dengan konsentrasi sekitar 10% pada pH 7,5 hingga pH 8. Dari hasil pengujian laboratorium terhadap filtrat diperoleh data pada Tabel 3.

Dari hasil pengujian laboratorium terhadap limbah cair setelah proses netralisasi dengan NaOH dapat dilihat pada Tabel 3, dimana seluruh parameter limbah cair telah memenuhi baku mutu yang diijinkan.

Logam besi yang tersisa hanya 0,208 mg/liter (% Removal 99,99%) ; Tembaga 0,29 mg/liter (% Removal 99,99) ; Removal Zink mencapai 97,58% demikian juga dengan yang lainnya. Sedangkan pH telah memenuhi baku mutu yaitu 6 – 9.

Tabel 3. Hasil uji filtrat coba setelah proses netralisasi.

No.	Parameter	Hasil analisa (mg/liter)
1.	Besi (mg/liter)	0,208
2.	Tembaga (mg/liter)	0,296
3.	Zink (mg/liter)	0,052
4.	Timbal (mg/liter)	<0,0764
5.	Nikel (mg/liter)	0,082
6.	pH	7,4
7.	TDS (mg/liter)	2.832,6
8.	TSS (mg/liter)	13,3
9.	Crom total (mg/lt)	<0,0091

Tekno-ekonomi:

Reaksi kimia:



Kebutuhan NaOH tanpa elektrolisa:

- Per hari untuk 1 liter limbah pekat dengan konsentrasi ion tembaga 11,22% (112,2 gram) adalah 148,5 gram (Rp. 3.089,-/liter s/d Rp.3.861 / liter limbah cair pekat). Asumsi harga 1 kg NaOH Rp.20.000,- sampai dengan Rp.25.000,- (<http://www.purewatercare.com/pwc/index.php?productID=156>)

Kebutuhan NaOH pasca elektrolisa:

- Untuk mereduksi tembaga yang tersisa (45% x 112.275 mg/liter) dari proses elektrolisa sekitar 56,8 gram (Rp. 1.206,- /liter s/d Rp.1.508,- / liter limbah cair).

Listrik yang digunakan untuk elektrolisa:

- Tegangan DC 6 Volt, Kuat Arus 2,8 Amp – 6 Amp (rerata 4 Amp), maka daya yang dikonsumsi sekitar 36 watt untuk beban tembaga 11.228 mg/liter (pengenceran 10 kali). Durasi proses elektrolisa yang diperlukan adalah 80 menit. Sehingga jumlah daya yang diperlukan untuk 1 liter limbah pekat adalah 320 watt ((24 watt x 80 menit / 60 menit) x 10 (faktor pengenceran)). Biaya beban listrik Rp.384,-/liter (320 watt /1000) x 1 jam x Rp.1.200,-/kwh

Maka total biaya proses gabungan elektrolisa dan netralisasi adalah sekitar Rp. 1.590,- hingga Rp.1.892,-/liter limbah cair pekat. Dari sini tampak selisih biaya pengolahan limbah cair cukup signifikan yaitu sekitar Rp.

KESIMPULAN

Metode elektrolisis dapat digunakan untuk mereduksi tembaga dalam limbah cair industri PCB. Hasil penelitian menunjukkan pelat besi yang digunakan sebagai elektroda mampu menyisihkan 66,21% tembaga pada jarak 2 cm dengan durasi proses 80 menit. Pelat stainless steel pada kondisi yang sama memberikan penyisihan tembaga sekitar 62 %. Jarak terbaik antar elektroda sekitar 2 cm. Tembaga yang terdeposisi pada katoda dari hasil pengujian laboratorium memiliki kemurnian di atas 81,7%. Setelah proses netralisasi dengan NaOH hingga pH 7,5–8 mampu menyisihkan logam besi 99,99%. Tembaga juga 99,99% dan Zink mencapai 97,58%. Biaya yang dibutuhkan untuk proses reduksi tembaga tanpa proses elektrolisa sekitar Rp.3.861,-/liter limbah cair. Total biaya, bila pengolahan menggunakan metode elektrolisa dan netralisasi sekitar Rp.1.892,-/liter limbah cair atau selisih sekitar Rp.1950,-/liter limbah cair.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih kami ucapkan kepada Yth. Kepala Balai Riset dan Standardisasi Industri Surabaya yang telah memberikan sarana hingga selesainya kegiatan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, M.A., (2011), *Analisa Pengaruh Besar Tegangan Listrik Terhadap Ketebalan Pelapisan Krom Pada Pelat Baja Dengan Proses ElektroPelating*, (Universitas Hasanudin-Makasar)
- Anonim, (2009), "Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2009 Tentang Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup", (Kementerian Hukum Dan Hak Asasi Manusia Republik Indonesia-Jakarta)
- Abdul Haris, dkk., *Pengendapan Logam Tembaga Dengan Metode Elektrolisis Internal*, (Undip-Semarang) <http://ejournal.undip.ac.id/index.php/ksa/article/download/3307/2970>. Diunduh pada Juli, 2013.
- Castro, L.A., ; A. H. Martins, (Dec. 2009), *Recovery of tin and copper by recycling of printed circuit boards from obsolete computers*, (Braz. J. Chem.Eng. vol.26 no.4 São Paulo ,Environmental Engineering), <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-66322009000400003> diunduh pada Juli 2013
- Clifton Potter, Aulia Gani, (1994), "Sumber, Pengendalian dan Baku Mutu Limbah Cair Berbagai Industri di Indonesia", (Kementerian Lingkungan Hidup & Dalhousie University, Canada).
- Eckenfelder Jr. (1999), "Industrial Water Pollution Control, 3th ed, (McGraw-Hill Science/Engineering/Math)
- Handaru B.C., (2011), *Laporan Penelitian Pengolahan Limbah Cair Penghancuran Lampu Fluorescent di Industri Lampu*, (Baristand Industri Surabaya).
- Handaru B.C., (2013), *Laporan Penelitian Perolehan Kembali Tembaga Dalam Limbah Cair Industri Printing Circuit Board Dengan Proses Elektrolisis*, (Baristand Industri Surabaya)
- Heryando P., (2004), "Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat", (Rineka Cipta, Jakarta).
- Metcalf & Eddy, (2003), "Wastewater Engineering – Treatment and Reuse", Fourth Edition, (Mc Graw Hill, New York)
- Perry's Chemical Engineers' Handbook, (2008), 8th Edition, (Mc Graw Hill).
- Sobri S., A., H.M. Ali, (2011), "Chemical Characterisation of Printed Circuit Board Wastewater", (Department of Chemical and Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Universiti Putra Malaysia, Serdang, Selangor, Malaysia) <http://iopscience.iop.org/1757-899X/17/1/012021>, diunduh pada Agustus 2013.
- Wiharti, dkk., *Aplikasi Metode Elektrolisis Menggunakan Elektroda Pelatina (Pt), Tembaga (Cu) Dan Karbon (C) Untuk Penurunan Kadar Cr Dalam Limbah Cair Industri Penyamakan Kulit Di Desa Sitimulyo, Piyungan, Bantul, Yogyakarta*. (UII-Yogyakarta) <http://chemistry.uii.ac.id/ICJR/Wiharti.pdf> diunduh pada Oktober 2014.

