

PENGARUH VARIASI KONSENTRASI LIMBAH TERHADAP PENURUNAN KANDUNGAN TEMBAGA PADA PENGOLAHAN LIMBAH CAIR PROSES *ETCHING* DENGAN METODE ELEKTROLISIS

Fifin Hindarti

Teknik Energi, Fakultas Teknik Industri, Institut Teknologi Yogyakarta
Email: viendarti@yahoo.co.id

Masuk: 21 Juni 2017, Revisi masuk: 10 Januari 2018, Diterima: 28 Januari 2018

ABSTRACT

The waste water of copper board etching process in Printed Circuit Board (PCB) production is kind of heavy metal waste water, that is copper, which has not been treated yet. In order to prevent the environment contamination process the waste water should be treated before thrown to environment. The kind of waste water treatment that will be applied to the waste water with heavy metal content, specially copper metal (Cu) is electrolysis method.

The experiment was done in laboratory scale. The batch electrolysis reactor was used in this experiment, with the copper as katoda and stainless steel as anoda. Electrolysis process was conducted with waste concentration variation that was equal to 124,16; 110,96 ; and 35,84 ppm.

The result of the experiment shows that, the electrolysis method could reduce copper concentration in the waste water of etching process. The biggest efficiency degradation for the variation of waste concentration was happened at waste concentration 35,84 ppm, that was equal to 100%, with end result equal to 0 ppm. Waste concentration equal to 124,16 of ppm its result 96,24 ppm, and for concentration 110,96 ppm was got by result 0,35 ppm.

Keywords: Copper, Concentration, Electrolysis, Waste Water.

INTISARI

Limbah cair proses *etching* (pelarutan) papan tembaga dalam pembuatan Papan Rangkaian Tercetak (PRT) merupakan limbah cair yang mengandung logam berat yaitu tembaga (Cu), yang selama ini tidak diperhatikan pengolahannya. Untuk menghindarkan terjadinya pencemaran lingkungan maka diperlukan suatu pengolahan air limbah yang mampu menurunkan kandungan tembaga (Cu) di dalam air limbah sebelum dibuang ke lingkungan, yaitu dengan metode elektrolisis.

Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium. Alat yang dipakai dalam percobaan ini berupa reaktor elektrolisis secara *batch*, dengan katoda dari logam tembaga dan anodanya menggunakan stainless steel. Proses elektrolisis dilakukan dengan variasi konsentrasi limbah yaitu 124,16 ppm; 110,96 ppm; dan 35,84 ppm.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode elektrolisis dapat menurunkan konsentrasi logam tembaga pada limbah cair proses *etching*. Proses elektrolisis pada konsentrasi awal 110,96 ppm, dengan variasi konsentrasi limbah diperoleh hasil efisiensi penurunan kadar Cu paling besar terjadi pada konsentrasi limbah 35,84 ppm, mencapai 100%, dengan hasil akhir sebesar 0 ppm. Konsentrasi limbah sebesar 124,16 ppm hasilnya 96,24 ppm, dan untuk konsentrasi 110,96 didapatkan hasil 0,35 ppm.

Kata-kata kunci: Elektrolisis, Limbah Cair, Tembaga (Cu), Konsentrasi

PENDAHULUAN

Pembuangan bahan kimia ke lingkungan tanpa adanya pengolahan terlebih dahulu, akhir-akhir ini semakin meningkat. Meskipun volumenya kecil,

namun jika hal ini dibiarkan dan terus menerus dilakukan, maka dapat menimbulkan pencemaran lingkungan dan atau menimbulkan kerusakan lingkungan yang cukup serius.

Proses-proses sederhana yang menggunakan bahan kimia dalam tahap *finishing*, terkadang kurang memperhatikan dampak terhadap lingkungan yang diakibatkan oleh pembuangan residu dari proses tersebut tanpa proses netralisasi terlebih dahulu. Sebagai contoh adalah limbah cair dari proses *etching* (pelarutan) dalam pembuatan Papan Rangkaian Tercetak (PRT) atau *Printed Circuit Board* (PCB), selama ini masih tidak dipikirkan.

Pengelolaan terhadap residu dari proses *etching* (pelarutan) dalam pembuatan Papan Rangkaian Tercetak (PRT) atau *Printed Circuit Board* (PCB), selama ini masih diabaikan. Pengguna biasanya membuang begitu saja ke lingkungan tanpa adanya pengolahan terlebih dahulu.

Bahan kimia yang umum digunakan dalam pembuatan PCB adalah *Ferri Chloride* (FeCl_3). Bahan-bahan kimia yang digunakan dalam proses ini mempunyai sifat bahaya seperti korosif, asam kuat yang panas, iritan terhadap kulit manusia, dan dapat membunuh mikroorganisme dalam tanah, dan lain-lain. Selain residu *ferri Chloride*, proses pelarutan PCB tersebut juga menghasilkan air limbah dengan kandungan logam berat yaitu tembaga (Cu) yang cukup tinggi. Hal itu memerlukan adanya suatu pengolahan air limbah yang mampu menurunkan kandungan tembaga (Cu) di dalam air limbah sebelum dibuang ke lingkungan.

Berdasarkan latar belakang masalah di atas maka rumusan masalah yang akan dibahas adalah 1) Apakah variasi konsentrasi limbah dalam proses elektrolisis berpengaruh terhadap penurunan kadar Cu (tembaga) yang terkandung dalam limbah proses pelarutan PCB? dan 2) Seberapa besar efisiensi variasi konsentrasi limbah dalam proses elektrolisis terhadap penurunan kandungan Cu dalam limbah cair proses pelarutan PCB?

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah Mengetahui pengaruh variasi konsentrasi limbah dalam pengolahan elektrolisis terhadap penurunan kadar tembaga (Cu) yang terkandung dalam limbah proses

pelarutan dan mengetahui efisiensi variasi konsentrasi limbah dalam proses elektrolisis terhadap penurunan kandungan Cu dalam limbah cair proses pelarutan PCB.

Pencemaran atau polusi adalah suatu kondisi yang telah berubah dari bentuk asal pada keadaan yang lebih buruk. Pergeseran bentuk tatanan dari kondisi asal yang buruk ini dapat terjadi sebagai akibat masukan dari bahan-bahan pencemar atau polutan. Bahan polutan tersebut pada umumnya mempunyai sifat racun (toksik) yang berbahaya bagi organisme hidup. Toksisitas atau daya racun dari polutan inilah yang kemudian menjadi pemicu terjadinya pencemaran

Suatu lingkungan hidup dikatakan tercemar apabila telah terjadi perubahan-perubahan dalam tatanan lingkungan itu sehingga tidak sama lagi dengan bentuk asalnya, sebagai akibat dari masuk dan atau dimasukkannya suatu zat atau benda asing ke dalam tatanan lingkungan itu. Perubahan yang terjadi sebagai akibat dari masuknya benda asing itu, memberikan pengaruh (dampak) buruk terhadap organisme yang sudah ada dan hidup dengan baik dalam tatanan lingkungan tersebut.

Pencemaran yang dapat menghancurkan tatanan lingkungan hidup, biasanya berasal dari limbah-limbah yang sangat berbahaya dalam arti memiliki daya racun (toksisitas) yang tinggi. Limbah-limbah yang sangat beracun pada umumnya merupakan limbah kimia, baik yang berupa persenyawaan kimia ataupun hanya dalam bentuk unsur atau ionisasi. Biasanya senyawa kimia yang sangat beracun bagi organisme hidup dan manusia adalah senyawa-senyawa kimia yang mempunyai bahan aktif dari logam berat.

Limbah adalah buangan yang dihasilkan dari suatu proses produksi baik industri maupun domestik (rumah tangga), yang lebih dikenal sebagai sampah, yang kehadirannya pada suatu saat dan tempat tertentu tidak dikehendaki lingkungan karena tidak memiliki nilai ekonomis. Bila ditinjau secara kimiawi, limbah ini terdiri dari bahan kimia Senyawa organik dan

Senyawa anorganik. Dengan konsentrasi dan kuantitas tertentu, kehadiran limbah dapat berdampak negatif terhadap lingkungan terutama bagi kesehatan manusia, sehingga perlu dilakukan penanganan terhadap limbah. Tingkat bahaya keracunan yang ditimbulkan oleh limbah tergantung pada jenis dan karakteristik limbah.

Karakteristik limbah dipengaruhi oleh ukuran partikel (mikro), sifatnya dinamis, penyebarannya luas dan berdampak panjang atau lama. Sedangkan kualitas limbah dipengaruhi oleh volume limbah, kandungan bahan pencemar dan frekuensi pembuangan limbah. Berdasarkan karakteristiknya, limbah industri dapat digolongkan menjadi 4 yaitu limbah cair, limbah padat, limbah gas dan partikel serta limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun) Untuk mengatasi limbah diperlukan pengolahan dan penanganan limbah. Pada dasarnya pengolahan limbah ini dapat dibedakan menjadi: pengolahan menurut tingkatan perlakuan pengolahan menurut karakteristik limbah.

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].

Papan rangkaian tercetak (PRT) atau *Printed Circuit Board* (PCB) merupakan papan pemasangan komponen elektronika yang jalur hubungannya menggunakan papan berlapis tembaga.

Pembentukan jalur PCB dilakukan dengan cara *etching* (pelarutan), yang sebagian tembaga dilepaskan secara kimia dari suatu papan lapis tembaga kosong. Tembaga yang tersisa beserta alasnya itulah yang akan membentuk PCB. Untuk menghilangkan lapisan tembaga pada PCB yang tidak tergambar pola jalur adalah dengan melakukan *etching* (pelarutan).

Pelarutan dilakukan dengan menggunakan bahan kimia, diantaranya : *Ferri Chloride* (FeCl_3), *Natrium Sulfat* (Na_2SO_4), *Asam Nitrat* (HNO_3), dan *Asam Chloride. Hidrogen Peroksida* (HCl

+ H_2O_2). Dari proses pembuatan PCB dihasilkan air limbah yang mempunyai pH rendah. Larutnya tembaga pada air menyebabkan kadar tembaga (Cu) dalam air limbah proses pelarutan menjadi tinggi

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].

Tembaga dengan nama kimia *Cupprum* dilambangkan dengan Cu. Unsur logam ini berbentuk kristal dengan warna kemerahan. Dalam tabel periodik unsur-unsur kimia, tembaga menempati posisi dengan nomor atom (NA) 29 dan mempunyai berat atom (BA) sebesar 63,546.

Tembaga (Cu) adalah salah satu logam berat yang banyak digunakan dalam aktivitas manusia. Tembaga banyak digunakan dalam pewarna tekstil, bahan pembuatan peralatan dapur, dan katalisator dalam industri kimia. Cu merupakan logam berat esensial yaitu dalam jumlah tertentu sangat dibutuhkan oleh organisme dan dalam jumlah berlebihan dapat menimbulkan efek toksik. Tembaga bersifat racun terhadap semua tumbuhan pada konsentrasi larutan di atas 0,1 ppm. Konsentrasi yang aman bagi air minum manusia tidak lebih dari 1 ppm. Kadar baku mutu logam berat pada ikan untuk Cu sebesar 0,02 ppm (Achmad Rukaesih, 2004).

Dalam tubuh manusia keracunan Cu dapat menimbulkan kerusakan otak, penurunan fungsi ginjal, dan pengendapan Cu dalam kornea mata. Keracunan kronis Cu pada manusia dapat menimbulkan penyakit Wilson's dan Kinsky. Penyakit Wilson's disebabkan oleh tersimpannya Cu secara berlebihan dalam tubuh karena Cu tidak dapat direaksikan oleh hati melalui empedu. Penyakit ini dapat menyebabkan

kerusakan otak dan hati. Penyakit Kinsky disebabkan karena kadar Cu pada hati dan otak rendah sementara kadar Cu pada jaringan lain sangat tinggi. Cu juga tidak bisa diuraikan di alam, sehingga Cu akan diakumulasi di dalam tanaman dan hewan melalui tanah. Tanah yang kaya Cu berpengaruh terhadap aktivitas mikroorganisme tanah dan cacing tanah serta menyebabkan dekomposisi senyawa organik sehingga mengurangi kesuburan tanah (Wahyu Widowati, dkk, 2008).

Tembaga dapat masuk ke dalam suatu tatanan lingkungan secara alamiah sebagai akibat dari berbagai peristiwa alam. Unsur ini dapat bersumber dari peristiwa pengikisan (erosi) dari batuan mineral, debu-debu dan atau partikulat-partikulat tembaga yang ada dalam lapisan udara yang dibawa turun oleh air hujan. Selain itu tembaga dapat masuk ke dalam suatu tatanan lingkungan sebagai akibat dari aktivitas manusia.

Melihat bahaya yang ditimbulkan oleh logam Cu terhadap makhluk hidup, maka keberadaan Cu sebagai pencemar di lingkungan harus segera ditanggulangi. Namun harus diperhatikan pula penggunaan metode pengolahan yang dipilih tidak menimbulkan beban pencemaran yang baru, serta merupakan metode yang efektif dan efisien.

Untuk melestarikan fungsi lingkungan hidup agar tetap bermanfaat bagi kehidupan manusia dan makhluk hidup lainnya maka Menteri Lingkungan Hidup telah mengatur batasan kandungan logam tembaga dalam limbah cair industri yang boleh dibuang ke lingkungan sesuai dengan Baku Mutu Air Limbah (PermenLH, 2014).

Pengolahan limbah bertujuan untuk menurunkan kadar pencemar dari limbah dan mendapatkan *effluent* dari unit pengolahan limbah yang mempunyai kualitas yang dapat diterima lingkungan tanpa ada gangguan fisik, kimia dan biologi.

Air limbah mempunyai tiga karakteristik, yaitu karakter fisikawi, kimiawi, dan biologis. Karakter fisikawi, seperti warna, kekeruhan, suhu, kandungan padatan. Karakter kimiawi meliputi pH, alkalinitas, BOD, COD, N, P,

S, dan kemungkinan keberadaan logam berat. Sedangkan untuk karakter biologis ditandai dengan jumlah coliform, keberadaan jamur, virus, dan sebagainya.

Apabila limbah tidak dikelola dengan baik dan hanya langsung dibuang diperaian maka akan sangat mengganggu lingkungan disekitarnya. Sebagian industri yang akan membuang limbah diwajibkan mengolahnya terlebih dahulu untuk mencegah pencemaran lingkungan hidup di sekitarnya (Widjajanto, 2011).

Jika hal ini dibiarkan saja dan terus menerus, logam tembaga yang masih terkandung didalam limbah cair tersebut akan mencemari lingkungan. Limbah cair proses pelarutan PCB untuk saat ini hanya dibuang ke lingkungan tanpa melalui proses pengolahan terlebih dahulu. Jika hal ini dibiarkan saja dan terjadi terus menerus, maka bahan-bahan kimia yang masih terkandung di dalam residu proses tersebut akan mengganggu dan merusak lingkungan. Oleh karena itu suatu paket rancangan proses pengolahan limbah perlu dikembangkan. Salah satu paket rancangan yang akan dikembangkan adalah sistem koagulasi dan proses elektrolisis

Elektrolisis merupakan perubahan kimia atau reaksi dekomposisi dalam suatu elektrolit oleh arus listrik. Elektrolit larut dalam pelarut polar (semisal air) dengan terdisosiasi menjadi ion-ion positif (kation-kation) dan ion-ion negatif (anion-anion). Ion negatif melalui larutan tertarik ke muatan positif pada anoda, sedang ion positif melalui larutan akan bergerak menuju muatan negatif pada katoda (Isana, 2010).

Umumnya industri menyukai pengolahan limbah cair yang sederhana dan tidak membutuhkan biaya operasional yang tinggi. Beberapa referensi menyebutkan proses pengolahan skala laboratorium terhadap limbah cair kandungan/unsur tembaga memanfaatkan proses elektrolisis memberikan hasil efektif, persentase removal berkisar antara 96,88-99%. Namun ternyata dalam aplikasi dilapangan proses ini memerlukan biaya

operasional yang sangat mahal (Cahyono dan Ariani, 2014)

Cara-cara pengolahan logam berat pada umumnya memerlukan proses yang rumit dengan penambahan bahan-bahan kimia tertentu. Hal ini membuat pengolahan logam berat selain membutuhkan biaya pengolahan yang tinggi, juga dapat menimbulkan limbah baru akibat penambahan bahan-bahan kimia tertentu di dalam pengolahan tersebut.

Proses elektrolisis merupakan salah satu proses pengolahan limbah yang diharapkan dapat menurunkan kandungan logam berat dalam limbah dan tidak menimbulkan limbah baru dengan penambahan bahan-bahan kimia dalam pengolahan limbah

Pada proses elektrolisis jarak antar elektroda akan berpengaruh terhadap keberhasilan proses elektrolisis. Pada saat elektrolisis berlangsung terdapat ruang yang cukup antar elektroda untuk menampung deposit tembaga yang terbentuk. Dengan semakin lamanya proses elektrolisis menyebabkan menyempitnya ruang antar elektroda. Hal inilah yang menghambat laju proses elektrolisis (Cahyono dan Ariani, 2014).

Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi efektivitas pengolahan secara elektrolisis antara lain: penggunaan katalisator, luas permukaan elektroda, sifat logam bahan elektroda, dan konsentrasi pereaksi (Farid dkk., 2012). Selain itu, kuat arus dan tegangan listrik dapat mempengaruhi kinerja elektrolisis karena tergantung dari spesifikasi sumber listrik (Topayung, 2011).

Secara umum faktor-faktor yang mempengaruhi proses elektrolisis antara lain:

- a. Kerapatan arus listrik
Kenaikan kerapatan arus akan mempercepat ion bermuatan membentuk inti kristal (flok)
- b. Waktu kontak/elektrolisis
Menurut Farady, jumlah ekuivalen bahan yang dihasilkan pada salah satu elektroda selama proses elektrolisis sebanding dengan jumlah listrik yang mengalir melalui sel elektrolisis, karena itu semakin lama

waktu elektrolisis maka semakin banyak endapan yang terbentuk.

- c. Tegangan
Arus listrik yang menghasilkan perubahan kimia mengalir melalui medium (logam atau elektrolit) karena adanya beda potensial atau tegangan listrik, karena tahanan listrik pada elektrolit jauh lebih besar daripada logam maka yang kita perhatikan adalah elektrolitnya dan batas antar logam (elektroda) dan elektrolitnya.
- d. Jarak Antar Elektroda
Besarnya jarak antar elektroda mempengaruhi besarnya hambatan elektrolit, makin besar jarak makin besar hambatannya, sehingga makin kecil arus yang mengalir.
- e. Kadar keasaman (pH)
Dalam proses elektrolisis ini terjadi reaksi pembentukan gas hidrogen (H^+) dan ion hidroksida (OH^-), dengan semakin lama waktu kontak yang digunakan, maka semakin cepat juga pembentukan gas hidrogen dan ion hidroksida, apabila ion hidroksida yang dihasilkan semakin banyak maka akan menaikkan pH dalam air/larutan.
- f. Ketebalan Plat
Semakin tebal plat elektroda yang digunakan, daya kemagnetannya dalam mereduksi dan mengoksidasi ion logam di dalam larutan juga semakin besar

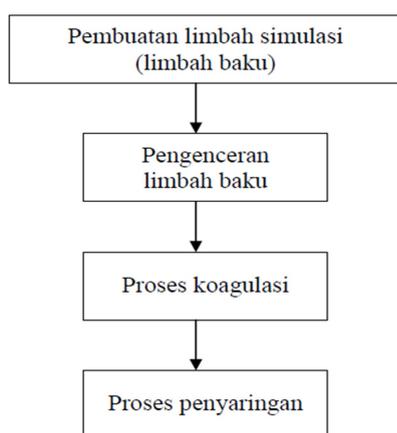
Metodologi Penelitian

Penelitian yang dilakukan untuk mengetahui pengaruh proses elektrolisis terhadap penurunan kadar Cu (tembaga) dalam pengolahan limbah cair proses pelarutan PCB merupakan penelitian eksperimen yang dilakukan dalam skala laboratorium. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi PCB polos ukuran 20 x 10 cm, *Ferri Chloride* ($FeCl_3$), $Ca(OH)_2$, dan Aquades.

Alat yang dipakai dalam percobaan pengolahan limbah cair pelarutan PCB adalah beaker glass, anoda stainless steel, katoda tembaga, adaptor dan kabel penghubung.

Ada 2 (dua) tahapan pokok dalam penelitian ini, yaitu : tahap persiapan dan

tahap penelitian. Tahap persiapan meliputi : mempersiapkan limbah simulasi, pengenceran limbah, dan proses koagulasi dengan koagulan $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Setelah proses koagulasi, kemudian dilakukan penyaringan, sehingga Fe yang telah terendap tidak ikut dalam proses elektrolisis. Tahap persiapan tampak dalam diagram alir di Gambar 1.

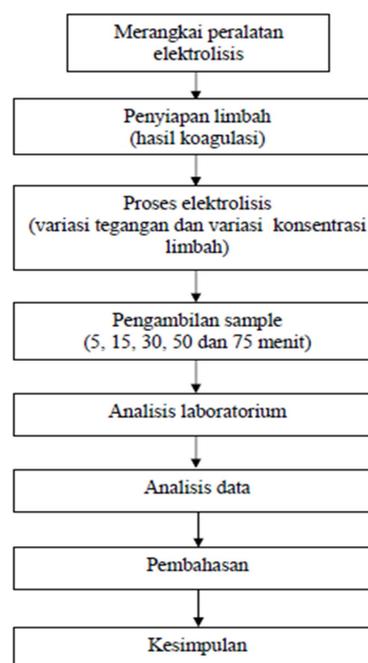


Gambar 1. Tahap Persiapan

Untuk tahap yang kedua adalah tahap penelitian. Tahap penelitian ini merupakan tahapan proses elektrolisis limbah pelarutan papan tembaga, yang sebelumnya telah dilakukan proses koagulasi. Gambar 2 menunjukkan diagram alir tahap penelitian.

Proses elektrolisis dengan variasi konsentrasi limbah, dilakukan untuk limbah yang diencerkan 5 kali, 10 kali, dan 15 kali (sebagai variasi konsentrasi), namun dilakukan hanya pada tegangan 12 V DC. Proses penelitian dimulai dengan memasukkan limbah pengenceran 5 kali yang telah dikoagulasi ke dalam peralatan elektrolisis. Kemudian mengambil air sampel sebanyak 25 ml, untuk waktu kontak 0 menit dan tegangan 0 V kemudian ditampung ke dalam botol sampel. Selanjutnya menyalakan adaptor pada tegangan 12 V dan mengambil air sampel hasil pengolahan setelah proses pengolahan berlangsung 5, 15, 30, 50, dan 75 menit dengan menggunakan pipet volume sebanyak 25 ml dan ditampung dalam gelas kimia. Setelah diendapkan selama 30 menit, kemudian dimasukkan ke dalam botol sampel dan

diberi kode sesuai dengan waktu dan besarnya pengenceran. Untuk percobaan dengan pengenceran 10 kali dan 15 kali, dilakukan dengan langkah seperti pada proses elektrolisis dengan pengenceran 5 kali.



Gambar 2. Tahap Penelitian

Penelitian ini bersifat eksperimen dengan maksud untuk mengetahui pengaruh dan efisiensi proses elektrolisis terhadap penurunan dan penetralan kadar bahan pencemar dengan menggunakan variasi konsentrasi limbah yang masuk.

Hasil penelitian limbah cair dari proses pelarutan tembaga dalam pembuatan PCB sebelum dan sesudah proses elektrolisis dengan variasi konsentrasi limbah dianalisis dengan menggunakan alat AAS, kemudian dibandingkan. Dari hasil analisis dapat diketahui berapa besar penurunan kandungan tembaga (Cu) setelah dilakukan pengolahan dengan metode elektrolisis. Tingkat efisiensi proses elektrolisis dinyatakan dengan nilai sebelum dan sesudah proses, yaitu:

$$\text{Efisiensi (\%)} = \frac{S_0 - S_i}{S_0} \times 100\% \quad (1)$$

S_0 = kadar Cu sebelum perlakuan
 S_i = kadar Cu setelah perlakuan

PEMBAHASAN

Limbah baku yang digunakan merupakan limbah simulasi (buatan) dengan data seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Bahan Limbah Simulasi

No	Bahan	Satuan	Banyaknya
1	Ferri Chloride	gram	100
2	PCB polos (10 x 20 cm)	gram	47,0876
3	Air	liter	1

Hasil penelitian karakteristik limbah baku yang dilakukan di laboratorium Analisis dengan Instrumen (ADIN) Jurusan Teknik Kimia, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, ditampilkan pada Tabel 2. Data limbah hasil pengenceran dari limbah baku ditunjukkan dalam Tabel 3.

Tabel 2. Data Parameter Limbah Simulasi

No	Parameter	Satuan	Hasil uji
1	Cu	mg/l	3430,48
2	Fe	Mg/l	25403,67
3	pH	-	2

Tabel 3. Data Limbah Hasil Pengenceran

No	Parameter	Pengenceran	Hasil Uji (mg/l)	pH
1	Cu	5 kali	479,62	2
2	Cu	10 kali	239,81	2
3	Cu	15 kali	159,87	2

Jumlah kapur (Ca(OH)₂) yang diperlukan untuk proses koagulasi limbah setelah dilakukan pengenceran ditunjukkan dalam Tabel 4.

Tabel 4. Jumlah Koagulan

Pengenceran	Koagulan	Jumlah (gr)
5 kali	Ca(OH) ₂	13,6615
10 kali	Ca(OH) ₂	6,8307
15 kali	Ca(OH) ₂	4,5538
Pelarut		Jumlah (ml)
H ₂ O (Aquadess)		136,7
H ₂ O (Aquadess)		68,3
H ₂ O (Aquadess)		45,6

Data limbah hasil koagulasi dari limbah yang telah dilakukan pengenceran yang akan digunakan sebagai variasi konsentrasi limbah dalam proses elektrolisis ditunjukkan pada Tabel 5.

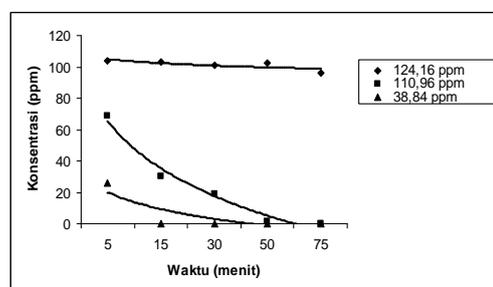
Tabel 5. Data Limbah Hasil Koagulasi

No	Parameter	Pengenceran	Hasil Uji (mg/l)	pH
1	Cu	5 kali	124,16	4
2	Cu	10 kali	110,96	4
3	Cu	15 kali	35,84	4

Hasil proses elektrolisis system BATCH terhadap limbah cair proses pelarutan PCB yang dianalisis secara laboratorium menggunakan AAS Hitachi 170-50A di laboratorium Analisis dengan Instrumen (ADIN) Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, menunjukkan penurunan kadar tembaga. Kuat arus yang digunakan sebesar 3 Ampere dan jarak plat 3 cm, variabel bebas yang digunakan terdiri dari variasi konsentrasi limbah yaitu 124,16 ppm, 110,96 ppm, dan 35,84 ppm. Hasil pengamatan terhadap penurunan konsentrasi Cu pada limbah cair proses pelarutan PCB setelah dilakukan pengolahan dengan metode elektroisis dengan memvariasi konsentrasi limbah dengan tegangan operasi 12 volt, ditunjukkan pada Tabel 6 dan Gambar 3.

Tabel 6. Hasil Elektrolisis Variasi Konsentrasi

Waktu (menit)	Konsentrasi Limbah (ppm)		
	124,16	110,96	35,84
5	104,16	68,51	25,94
15	103,17	29,90	0,20
30	101,19	19,01	0
50	102,18	1,08	0
75	96,24	0,35	0
pH = 9			



Gambar 3. Grafik Elektrolisis Variasi Konsentrasi Tegangan 12 V

Hasil pengamatan terhadap perubahan konsentrasi limbah

menunjukkan konsentrasi limbah 124,16 ppm, diperoleh konsentrasi hasil sebesar 96,24 ppm, sedangkan untuk konsentrasi umpan 110,96 didapatkan konsentrasi akhir sebesar 0,35 ppm, dan untuk konsentrasi limbah sebesar 35,84 ppm, diperoleh konsentrasi akhir 0 ppm (tidak terdeteksi). Tabel 7 berikut ini menunjukkan hasil perhitungan besarnya efisiensi penurunan konsentrasi tembaga setelah dilakukan proses elektrolisis dengan memvariasi konsentrasi limbah.

Tabel 7. Hasil Perhitungan Efisiensi Penurunan Kadar Tembaga dengan Variasi Konsentrasi Limbah

Waktu (menit)	Efisiensi Penurunan (%)		
	124,16	110,96	35,84
5	16,11	38,26	27,62
15	16,91	73,05	99,44
30	18,50	82,87	100
50	17,70	99,03	100
75	22,49	99,68	100

Berdasarkan tabel 7 tersebut dapat dilihat penurunan konsentrasi tembaga pada masing-masing perlakuan variasi konsentrasi limbah, dapat disimpulkan bahwa efisiensi penurunan kadar tembaga paling besar terjadi pada konsentrasi limbah 35,84 ppm, yaitu mencapai 100%.

Pada pengolahan limbah cair proses pelarutan PCB dengan konsentrasi 124,16 ppm terlihat bahwa kadar Cu yang dihasilkan masih tinggi, hal ini disebabkan oleh limbah yang terlalu pekat. Konsentrasi limbah yang besar (pekat) akan mempunyai daya hantar yang besar, sehingga akan menimbulkan arus listrik (*current density*) yang besar juga. Dengan adanya arus listrik yang besar maka ion bermuatan akan cepat membentuk flok, sehingga pada saat pengolahan flok yang dihasilkan sangat banyak dan menutupi permukaan katoda. Ketika permukaan plat katoda telah dipenuhi logam Cu, maka nilai kuat arus pada katoda menurun dan menyebabkan tahanan di katoda menjadi besar, sehingga kemungkinan mengikat Cu oleh katoda menjadi lambat atau kemampuan mengikat Cu turun.

Dari Tabel 6 untuk konsentrasi 35,84 ppm terlihat bahwa kadar Cu yang

dihasilkan sangat rendah. Dengan pemberian tegangan tetap (12 volt), maka pada pengolahan limbah dengan konsentrasi kecil didapatkan arus dan daya hantar yang kecil, serta nilai hambatan (R) yang cukup besar. Dengan kondisi tersebut pembentukan flok oleh ion bermuatan dalam air limbah tidak banyak, sehingga permukaan katoda masih dapat mereduksi Cu yang ada. Pada konsentrasi limbah yang kecil maka ion Cu yang akan direduksi lebih sedikit jumlahnya, sehingga dengan perlakuan tegangan yang sama (12 volt), Cu sudah dapat banyak tereduksi pada waktu yang lebih singkat dibandingkan dengan pengolahan untuk limbah konsentrasi pekat. Berdasarkan pembahasan tersebut diketahui pengaruh konsentrasi limbah terhadap penurunan kadar Cu, yaitu konsentrasi kecil akan lebih cepat tereduksi dibanding konsentrasi yang besar.

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, ternyata kadar Cu (tembaga) pada limbah proses pelarutan PCB mengalami penurunan setelah dilakukan pengolahan secara elektrolisis dengan variasi konsentrasi limbah, yang sebelumnya dilakukan perlakuan pendahuluan yaitu pengenceran dan proses koagulasi terhadap limbah baku. Hal tersebut menunjukkan terdapat perubahan kimia yang terjadi di dalam proses elektrolisis yang disebabkan oleh perubahan energi, yaitu dari energi listrik menjadi energi kimia. Arus listrik yang menghasilkan perubahan kimia mengalir melalui media (dalam penelitian yang dilakukan, arus listrik mengalir melalui media plat elektroda logam).

Reaksi reduksi dan oksidasi berlangsung pada bagian-bagian elektroda, elektroda tempat terjadinya proses oksidasi disebut anoda, dan elektroda tempat terjadinya proses reduksi disebut katoda. Di katoda akan terjadi pelepasan elektron sehingga elektron tersebut akan ditarik oleh ion tembaga (Cu^{2+}) ke bentuk Cu, hal ini dapat dilihat dalam reaksi katoda sebagai berikut:



Dalam proses di atas, Cu mengalami reduksi dengan menurunnya bilangan

oksidasi Cu dari (+2) menjadi Cu (s). Sehingga Cu^{2+} akan tereduksi sesuai muatan dan elektron yang diterimanya dari katoda, sehingga terjadi penurunan kadar tembaga dalam limbah proses pelarutan PCB.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Konsentrasi limbah berpengaruh terhadap besar kecilnya penurunan dan efisiensi penurunan kadar tembaga dalam limbah cair proses pelarutan PCB. Semakin kecil konsentrasi limbah dalam pengolahan maka semakin cepat waktu yang dibutuhkan untuk menghasilkan effluent dengan kadar tembaga rendah dari pengolahan secara elektrolisis.
2. Hasil proses elektrolisis dengan variasi konsentrasi limbah, efisiensi penurunan kadar tembaga dalam limbah cair proses pelarutan PCB tertinggi terjadi pada konsentrasi 35,84 ppm yaitu sebesar 100%.

SARAN

1. Agar proses elektrolisis berjalan dengan optimum dan juga untuk efisiensi alat, sebaiknya dilakukan penggantian plat elektroda, apabila plat telah banyak mengalami korosi, karena akan mempengaruhi proses dan efisiensi penurunan parameter limbah
2. Pengenceran limbah dapat dilakukan apabila konsentrasi atau kandungan logam dalam limbah sangat tinggi dan terdapat perbedaan potensial yang sangat besar antara elektroda dan elektrolit dengan kapasitas kuat arus yang digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Cahyono, H.B. dan Ariani, N.M., 2014, Reduksi Tembaga dalam Limbah Cair Proses *Etching Printing Circuit Board* (PCB) dengan Proses Elektrokimia, *Journal of Industrial Research*, 8 (2).
- Handaru, B.C., 2013, Laporan Penelitian Perolehan Kembali Tembaga dalam Limbah Cair Industri Printing Circuit

Board dengan Proses Elektrolisis, (Baristand Industri Surabaya).

- Isana, S.Y.L., 2010, Perilaku Sel Elektrolisis Air dengan Elektroda Stainless Steel. *Prosiding Seminar Nasional Kimia & Pendidikan Kimia*, Yogyakarta, 30 Oktober 2010, hal. 1-9.

Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia No 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah. Jakarta.

Perry's Chemical Engineers' Handbook, 2008, 8th Edition, Mc Graw Hill.

Rukaesih, A., 2004, Kimia Lingkungan, Yogyakarta: Penebit Andi.

Topayung, D., 2011, Pengaruh Arus Listrik dan Waktu Proses Terhadap Ketebalan dan Massa Lapisan yang Terbentuk pada Proses Elektroplating Pelat Baja, *Jurnal Ilmiah Sains*, 11(1).

Widjajanto, D., 2011, *Penurunan Logam Berat dan Kekeruhan Air Limbah Menggunakan Proses Elektrokoagulasi*, Jurusan Teknik Elektro. Politeknik Negeri Jakarta, 2(1).

Widowati, W., Sastiono, A., Jusuf R., 2008, Efek Toksik Logam. Yogyakarta: Penerbit Andi.

BIODATA PENULIS

Fifin Hindarti, S.Pd.T., M.T. lahir di Yogyakarta tanggal 9 Februari 1978, menyelesaikan pendidikan D3 pada bidang Teknik Elektro dari Universitas Negeri Yogyakarta tahun 2002, S1 pada bidang Pendidikan Teknik Elektro dari Universitas Negeri Yogyakarta tahun 2005, dan S2 bidang Teknik Sistem/ Teknologi Pengelolaan dan Pemanfaatan Limbah/Sampah Perkotaan tahun 2007. Saat ini tercatat sebagai Dosen Tetap pada Jurusan Teknik Energi, Institut Teknologi Yogyakarta dengan bidang minat ilmu bahan dan teknologi bahan; elektronika daya; teknik tenaga listrik, dan instrumen, alat bantu dan alat ukur.