

**PENGARUH PLAT GRAFIT DAN TEMBAGA TERHADAP
KINERJA PROSES PENGOLAHAN LIMBAH CAIR INDUSTRI
BATIK YANG MENGANDUNG LOGAM ZN MENGGUNAKAN
METODE ELEKTROLISIS**

***EFFECTS OF GRAPHITE AND COPPER PLATES ON THE
PERFORMANCE OF ELECTROLYSIS METHOD PROCESSING TO
BATIK INDUSTRY'S WASTEWATER CONTAINED ZINC***

***¹Robby Hermawan dan ²Mindriany Syafila**

Program Studi Magister Teknik Lingkungan

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung,

Jl. Ganesha 10 Bandung 40132

Email: ¹robby_hrmwn@hotmail.com dan ²syafila.mindriany@gmail.com

Abstrak: Batik merupakan salah satu budaya warisan dunia yang telah ditetapkan UNESCO. Semenjak saat itu permintaan produksi batik meningkat. Limbah cair batik telah banyak diolah dengan berbagai macam proses biologi. Namun pada penelitian ini akan mengolah limbah cair batik dengan pengolahan secara fisika-kimia. Elektrolisis akan memecah molekul air limbah dengan aliran arus listrik searah dan bantuan senyawa elektrolit seperti NaCl sehingga dihasilkan reaksi redoks. Limbah cair berasal dari industri batik rumahan yang terletak di kawasan lembang. Limbah cair diolah menggunakan dua macam variasi elektrolisis yaitu, tegangan dan jenis elektroda. Variasi pertama elektroda yang digunakan adalah grafit pada anoda maupun katoda dan akan dialirkan tegangan yang bervariasi mulai dari 5 volt, 15 volt dan terakhir 48 volt. Variasi yang kedua adalah penggunaan grafit pada anoda dan tembaga pada katoda dengan tegangan yang dialirkan sebesar 5 volt, 15 volt dan 48 volt. Berdasarkan uji karakteristik awal limbah ditemukan bahwa Zn sebesar 340,76 mg/l. Dengan pengolahan elektrolisis variasi pertama menggunakan elektroda grafit-grafit dihasilkan penyisihan Zn optimum pada tegangan 48 volt selama 8 jam sebesar 89,74% dan variasi dengan grafit-tembaga optimum pada tegangan 48 volt selama 48 jam sebesar 90,26%. Variasi menggunakan pH dan NaCl pada elektroda grafit-grafit dihasilkan 92,73% penyisihan pada pH 10 dan NaCl 0 gr/l. pada elektroda grafit-tembaga penyisihan sebesar 94,7% dengan pH 10 dan NaCl 5 gr/l.

Kata kunci: elektrolisis, anoda, katoda, grafit, tembaga

Abstract: Batik is one of the world's cultural heritage that has been designated by UNESCO. Since that time the demand for batik production increases. Batik wastewater has been treated with a variety of biological processes. In this study, Batik wastewater will treat with physico-chemical process. Electrolysis will break down the wastewater molecules to flow electric current direction and assistance electrolyte compounds such as NaCl so that the resulting redox reactions. Home industrial wastewater which located in the lembang. Wastewater is processed using two kinds of electrolysis variations, those are voltage and type of electrodes. First variation electrode used is graphite on the anode or cathode and will be streamed voltages ranging from 5 volts, 15 volt and 48 volt. The second variation is the use of graphite in the anode and copper cathode supplied with the voltage of 5 volts, 15 volts and 48 volts. Based on preliminary detected metal is Zn amounted to 340,76 mg/L. With the first variation electrolysis process using graphite-graphite electrodes most optimum Zn removal at 8 th hour with 48 volt is 89,74% and using graphite-copper electrodes most optimum zn removal at 48 th hour and 48 volt is 90,26%. Variation using pH and NaCl with graphite-graphite electrodes resulted 92,73% zn removal at pH 10 and NaCl 0 gr/l. Using graphite-copper electrodes resulted 94,7% zn removal at pH 10 and NaCl 5 gr/l.

Keywords: electrolysis, anode, catode, graphite, copper

PENDAHULUAN

Batik merupakan salah satu budaya warisan dunia yang telah ditetapkan UNESCO. Semenjak saat itu permintaan produksi batik meningkat. Industri batik dan tekstil merupakan salah satu penghasil limbah cair yang berasal dari proses pewarnaan, selain kandungan zat warnanya tinggi limbah industri batik dan tekstil juga mengandung bahan-bahan sintetik yang sukar larut atau sukar diuraikan, setelah proses pewarnaan selesai akan dihasilkan limbah cair yang berwarna keruh dan pekat. Warna air limbah tergantung pada zat warna yang digunakan, limbah air yang berwarna-warni akan menyebabkan masalah terhadap lingkungan. Limbah zat warna yang dihasilkan dari industri tekstil umumnya merupakan senyawa organik *non-biodegradable* yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan terutama lingkungan perairan (Friska, 2013).

Industri pabrik tekstil membuang limbah cair ke lingkungan dengan demikian dengan demikian mutu lingkungan tempat tinggal penduduk menjadi turun karena limbah cair tersebut, jika hal ini ambang batas yang diperbolehkan, maka gejala yang paling mudah diketahui adalah matinya organisme perairan (Al-kdasi, 2004). Air bekas cucian pembuatan batik yang menggunakan bahan-bahan kimia banyak mengandung zat pencemar/racun yang dapat mengakibatkan gangguan terhadap lingkungan, kehidupan manusia, binatang maupun tumbuh-tumbuhan. Zat warna dapat mengakibatkan penyakit kulit dan yang sangat membahayakan adalah dapat mengakibatkan kanker kulit (Sugiharto, 1987). Limbah yang dilepaskan dari industri ini perlahan menyusup ke dalam tanah dan mengalir menuju aliran air tanah, sehingga membuatnya tidak aman untuk minum dan keperluan rumah tangga lainnya (Neha Tyagi *et al*, 2013).

Pada penelitian ini menyisihkan Zn menggunakan metode elektrolisis yang berarti memecah senyawa menggunakan arus listrik ini pertama kali dikenalkan oleh Michael Faraday pada tahun 1820, namun pertama kali di demonstrasikan oleh ` dan Carlisle pada tahun 1800 (M.A.Laguna-Bercero, 2012). Metode ini menggunakan anoda dan katoda grafit (C) serta penggunaan anoda grafit (C) dan katoda tembaga (Cu) dengan berbagai variasi tegangan. Grafit merupakan logam inert yang sangat baik sebagai elektrokatalis dan tahan terhadap kondisi larutan. Metode ini merupakan metode yang efektif, selektif, ekonomis, bebas polutan dan sangat sesuai untuk menghancurkan senyawa-senyawa organik. Sehingga limbah yang di buang ke saluran air adalah limbah yang aman bagi lingkungan dan adanya perbaikan sistem drainase yang mampu menunjang perkembangan industri batik.

Proses ini telah diterapkan selama beberapa tahun terakhir ini dalam mengatasi permasalahan limbah terutama pada limbah tekstil yang mengandung pewarna. Pada banyak permasalahan limbah tekstil yang mengandung pewarna terdapat kadar organik ataupun logam berat yang melebihi batas baku mutu sehingga dengan proses pengolahan elektrolisis ini polutan organik maupun logam berat akan dihancurkan secara langsung oleh proses anodik (A.G. Vlyssides *et al*, 1999).

Pada proses elektrolisis sangat perlu diperhatikan tidak hanya elektroda yang digunakan, namun adanya penambahan elektrolit kedalam limbah dapat membantu proses elektrolisis berjalan dengan baik. Elektrolit yang di tambahkan berupa NaCl ke dalam limbah. Kehadiran NaCl di dalam limbah meningkatkan konsentrasi elektrolit dan tegangan yang akan menurunkan konsentrasi pencemar (P. Asaithambi *et al*, 2011).

Menurut (Yu *et al*, 2013) bahwa elektrolisis yang dilakukan oleh (Wang, 2006) dapat mengolah air limbah yang mengandung minyak serta dapat mereduksi maupun BOD sebesar 90% sehingga proses ini sangat cocok untuk diterapkan pada limbah yang mengandung organik. Elektrolisis telah banyak terbukti dalam berbagai macam pengolahan limbah dan telah terbukti pada beberapa jenis limbah seperti limbah rumah tangga, limbah tekstil, air lindi dari *landfill*, air tanah yang tercemar Zn dan lainnya (Bong-yul Tak *et al*, 2015).

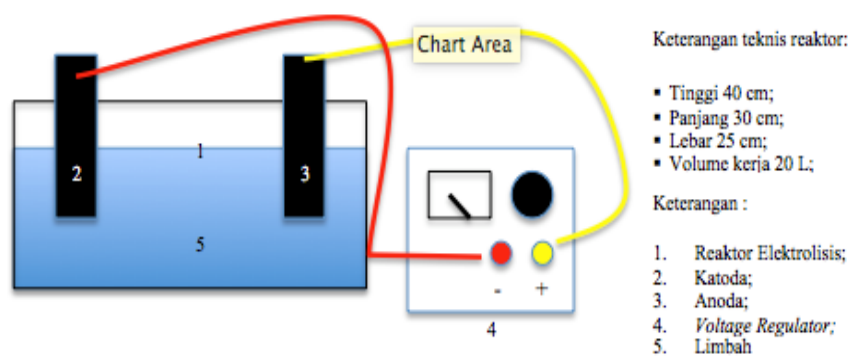
Faktor-faktor yang dipertimbangkan ketika memilih bahan elektroda adalah stabilitas fisik dan kimiawi yang meliputi ketahanan terhadap korosi, pembentukan oksida dan hidrida tertentu, laju dan selektivitas produk yang akan terbentuk, konduktivitas listrik, ketahanan dan harga faktor, serta kesesuaian dengan desain sel atau system. Keuntungan menggunakan elektroda grafit antara lain adalah harganya relatif murah dibandingkan elektroda logam karena pemurnian grafit

untuk elektroda lebih sederhana bila dibandingkan dengan pemurnian logam untuk dijadikan elektroda (Artadi, 2007).

Sehingga penelitian ini akan melihat pengaruh tegangan, plat, pH maupun NaCl terhadap limbah cair batik yang diolah sehingga dapat diterapkan dalam skala besar. Penelitian ini diharapkan dapat membantu mengatasi permasalahan limbah batik yang selama ini cukup mencemari lingkungan.

METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini, limbah yang digunakan merupakan limbah cair artifisial dan limbah yang berasal dari limbah cair industri batik. Penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan dimulai dari analisa awal limbah yang akan digunakan, pengambilan sampel limbah untuk digunakan dalam pengolahan, persiapan sampel limbah, pengolahan menggunakan metode elektrolisis dan pengujian sampel limbah hasil pengolahan menggunakan AAS.



Gambar 1. Reaktor elektrolisis

Percobaan menggunakan plat grafit dengan luas permukaan 180 cm² dan plat tembaga dengan luas permukaan 198,4 cm² dan percobaan pada masing-masing variasi dilakukan selama 48 jam dengan interval waktu pengambilan sampel setiap 8 jam. Data yang dihasilkan pada percobaan ini di uji secara 15variable15 menggunakan regresi linier berganda pada program SPSS untuk mengetahui adakah pengaruh yang terjadi pada variabel yang ada. Percobaan pertama ditujukan untuk menentukan tegangan dan waktu yang optimum. Setelah ditemukan waktu dan tegangan optimum dilakukan percobaan dengan variasi pH (3-10) dan NaCl (0-5 gr/l). Data yang diperoleh berupa efisiensi penyisihan Zn. Persentase efisiensi penyisihan Zn dapat dihitung sebagai berikut:

$$\% \text{Penyisihan} = \left(\frac{C_o - C_t}{C_o} \right) \times 100\% \quad (1)$$

Kerapatan arus yang berjalan selama proses elektrolisis berlangsung. Namun kerapatan arus listrik ini bergantung pada luas permukaan anoda. Jika luas permukaan anoda berubah maka nilai rapat arus listrik akan berubah. Namun luas permukaan katoda tidak akan berpengaruh pada nilai kerapatan arus (Djaenudin, 2009).

$$\text{Kerapatan Arus} = \frac{\text{Arus listrik}}{A} \quad (2)$$

Perhitungan kinetika laju reaksi dari tegangan terhadap elektroda berdasarkan konsentrasi Zn yang telah didapat. Perhitungan kinetika laju reaksi orde nol, orde satu dan orde dua sebagai berikut:

$$\log r = \log k + n \cdot \log C \quad (3)$$

$$k = \frac{r}{C^n} \quad (4)$$

Dimana r adalah laju reaksi, k adalah konstanta laju reaksi dan C adalah konsentrasi awal limbah. Selain kinetika perlu diperhatikan tentang termodinamika dari proses elektrolisis dengan menghitung energi bebas Gibbs. jika nilai dari E_{Cell}° adalah negatif (-) maka reaksi redoks yang terjadi adalah tidak spontan, dan berlaku untuk sebaliknya jika E_{Cell}° adalah positif (+) maka reaksi yang berlangsung adalah spontan. Perhitungan energi bebas Gibbs dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan Nernst berikut ini:

$$E_{Cell}^{\circ} = E_{Reduction} + E_{Oxidation} \quad (5)$$

$$\Delta G = nFE_{Cell}^{\circ} \quad (6)$$

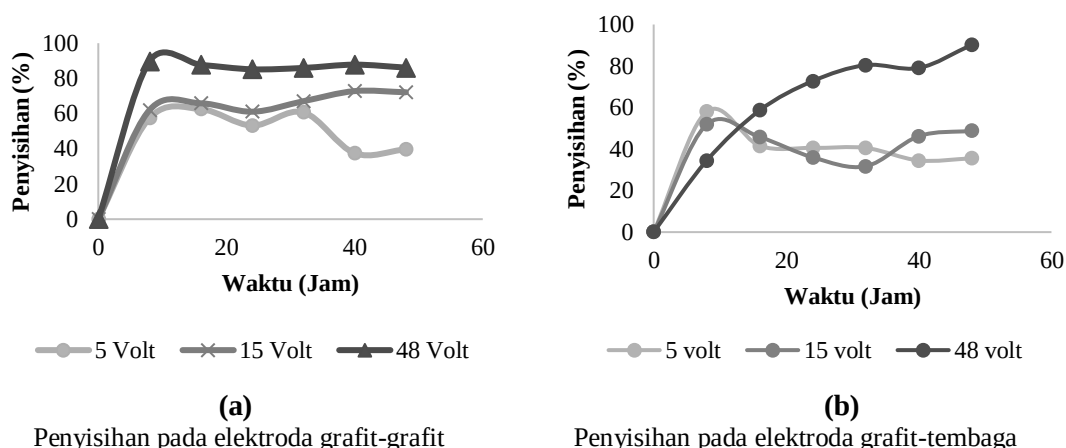
HASIL DAN PEMBAHASAN

Limbah cair diolah menggunakan dua macam variasi elektrolisis yaitu, tegangan dan jenis elektroda. Variasi pertama elektroda yang digunakan adalah grafit berukuran 18 cm x 5 cm pada anoda maupun katoda dan akan dialirkan tegangan yang bervariasi mulai dari 5 volt, 15 volt dan terakhir 48 volt. Variasi yang kedua adalah penggunaan grafit pada anoda dan tembaga pada katoda dengan tegangan yang dialirkan sebesar 5 volt, 15 volt dan 48 volt. Berdasarkan uji karakteristik awal limbah ditemukan bahwa logam yang terdeteksi adalah Zn sebesar 347,60 mg/L.

Tabel 1. Karakteristik awal limbah pewaranaan batik

Jenis Limbah	pH	COD	BOD	TSS	Zn	Cd	Cr
Batik Lembang	3,70	768 mg/L	74,1 mg/L	1.100 mg/L	340,76 mg/L	ttd	ttd

Percobaan dilakukan dengan mencari waktu optimum yang berjalan selama 48 jam dan tegangan optimum antara 5 volt, 15 volt dan 48 volt. Berikut pada **Gambar 2.** merupakan gambaran penyisihan logam zn yang terjadi selama 48 jam dengan ketiga variasi tegangan:



Gambar 2. Persentase penyisihan Zn dengan kedua variasi elektroda

Penyisihan zn pada elektroda grafit-grafit pada jam ke-48 adalah sebesar 86,12% namun penyisihan paling besar terjadi pada jam ke-8 dengan besar penyisihan 89,74% dengan konsentrasi sebesar 34,95 mg/L. Dengan ini maka pada percobaan dengan variasi berikutnya

menggunakan waktu dengan penyisihan paling besar yaitu selama 8 jam dengan tegangan 48 volt. Penyisihan Zn pada tegangan 48 volt dengan elektroda grafit-tembaga paling besar terjadi pada jam ke-48 yaitu 90,26% dengan konsentrasi sebesar 33,18 mg/L. Penyisihan menggunakan tegangan 48 volt ini terbilang sangat baik dan dapat merupakan hasil yang optimum untuk digunakan pada variasi berikutnya. Hal ini sesuai dengan yang diungkapkan (Djaenudin, 2009) bahwa tegangan memiliki pengaruh terhadap proses elektrolisis. Semakin besar tegangan yang dialirkan maka persentase penyisihan semakin besar pula. Selain itu luas permukaan yang berbeda pada grafit maupun tembaga. Tembaga memiliki luas permukaan 198,4 cm² sedangkan grafit hanya memiliki luas permukaan 180 cm². Luas permukaan merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi proses elektrolisis (Rehan Muhammad Khan, 2005).

Penentuan kinetika dilakukan untuk mendapatkan nilai orde, konstanta dan laju degradasi Zn dalam limbah didapat melalui persamaan laju degradasi. Menurut Sawyer, (1994) bahwa kinetika kimia sangat berkaitan dengan laju reaksi sedangkan laju reaksi dipengaruhi oleh perubahan konsentrasi pereaksi yang tak dapat diramalkan dari persamaan reaksi keseluruhan, tetapi haruslah ditentukan melalui eksperimen. Berikut ini merupakan nilai laju reaksi berdasar pada data eksperimen yang dilakukan dalam penelitian:

Tabel 2. Laju reaksi penyisihan Zn

Tegangan	Grafit-Grafit	Grafit-Tembaga
	r	r
5 volt	2,82	2,52
15 volt	5,12	3,46
48 volt	6,11	6,41

Dengan ditemukannya nilai laju reaksi dari masing-masing plat dan tegangan yang digunakan maka dilakukan penentuan orde reaksi dan nilai konstanta laju reaksi dengan **Persamaan 3**.

$$\log 2,82 = \log k + n \cdot \log 340,76$$

Dengan nilai k adalah 1, maka dapat dihilangkan dan perhitungannya menjadi:

$$\begin{aligned} \log 2,82 &= n \cdot \log 340,76 \\ n &= \frac{\log 2,82}{\log 340,76} \\ n &= \frac{0,45}{2,53} = 0,1 \end{aligned}$$

Maka orde reaksi pada tegangan 5 volt adalah orde 0. Perhitungan nilai konstanta laju reaksi pada tegangan 5 volt adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} r &= k[Zn]^n \\ 2,82 &= k[340,76]^0 \\ k &= \frac{2,82}{1} \\ k &= 2,82 \end{aligned}$$

Perhitungan yang sama berlaku untuk eksperimen berikutnya. Berikut ini merupakan rekapitulasi dari hasil perhitungan nilai orde reaksi dan konstanta laju reaksi pada setiap eksperimen:

Tabel 3. Data rekapitulasi orde reaksi setiap variasi plat dan tegangan

plat	Tegangan	Zn Awal (mg/l)	r	k	Orde reaksi
Grafit-Grafit	5 volt	340,76	2,82	2,82	0
	15 volt	340,76	5,12	5,12	0
	48 volt	340,76	6,11	6,11	0
Grafit-Tembaga	5 volt	340,76	2,52	2,52	0
	15 volt	340,76	3,46	3,46	0
	48 volt	340,76	6,41	6,41	0

Pada penelitian ini terlihat bahwa semua variasi baik pada elektroda grafit-grafit maupun elektroda grafit-tembaga berada pada orde 0. Hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi tidak mempengaruhi laju reaksi yang berarti perubahan konsentrasi awal tidak akan mempengaruhi laju penyisihan Zn.

Setelah didapatkan waktu dan tegangan yang optimum dari masing-masing penggunaan elektroda, dilakukan variasi pH dan NaCl pada kedua jenis elektroda. Percobaan dengan variasi pH untuk melihat besarnya pengaruh pH terhadap metode pengolahan yang dilakukan dan pH dapat mempengaruhi persaingan antara air dan oksidasi klorida. Umumnya, pH rendah diharapkan dapat meningkatkan perantara oksidasi dari organik oleh klor aktif. Sebaliknya, pH tinggi diharapkan mendukung oksidasi air terhadap klorida, sehingga meningkatkan oksidasi oleh OH (J. Zou *et al*, 2016). pH yang digunakan berkisar dari pH 3, pH 7 dan pH 10. Sedangkan pada variasi NaCl dengan konsentrasi NaCl 0 gr/l, 1 gr/l dan 5 gr/l. Melalui variasi tersebut data yang dihasilkan dilakukan uji multifaktor untuk mengetahui pengaruh masing-masing variasi terhadap konsentrasi Zn.

Melalui uji ANOVA multifaktor dihasilkan bahwa plat, pH dan kombinasi antara plat dengan pH memberikan pengaruh yang signifikan terhadap konsentrasi Zn. Kedua jenis elektroda adalah penghantar listrik yang sangat baik sehingga mampu menghantarkan listrik pada limbah dengan baik. Selain itu luas permukaan pada elektroda yang digunakan cukup besar sehingga kerapatan arus yang dihasilkan besar pula. Kerapatan arus yang besar menghasilkan penyisihan yang besar. Pada beberapa penelitian menunjukkan bahwa semakin besar kerapatan arus yang digunakan maka semakin besar penyisihan yang dihasilkan. Sebagai acuan adalah penelitian K.V. Radha pada tahun 2009 yang menunjukkan besarnya kerapatan arus yang menghasilkan penyisihan terbaik pada 28 mA/cm². Namun karena keterbatasan bahan sebagai anoda maka didapatkan kerapatan arus yang paling mendekati adalah sebesar 27,78 mA/cm² yang ditentukan melalui **Persamaan 1** dengan menghitung luas permukaan anoda yang digunakan serta arus listrik yang dialirkan pada penelitian ini. Luas permukaan merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi proses elektrolisis (Rehan Muhammad Khan, 2005).

Pada sel elektrolisis zat-zat dapat terurai sehingga terjadi perubahan massa. Peruraian tersebut disebabkan oleh energi listrik yang dibawa oleh ion-ion yang bergerak di dalam larutan elektrolit atau karena adanya perubahan daya gerak listrik di dalam sel tersebut. Daya gerak listrik ini merupakan perbedaan potensial standar elektroda negatif (katoda) dan potensial standar elektroda positif (anoda). Perbedaan potensial standar ini biasanya disebabkan perbedaan bahan yang dipakai antara anoda dan katoda (Daryoko Dkk, 2009).

Besarnya pengaruh pH sebagai presipitan membantu kinerja plat dalam menyisihkan konsentrasi Zn. Pada proses elektrolisis air sendiri menghasilkan ion OH⁻ yang memiliki pengaruh

dalam pelekatan ion Zn^{2+} pada katoda. Dengan adanya tambahan pH maka semakin meningkatkan jumlah ion OH^- yang ada pada limbah maka semakin banyak logam yang melekat pada katoda dan mengurangi konsentrasi Zn yang terlarut pada limbah.

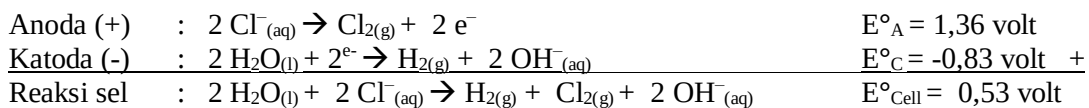
Pada penelitian ini terlihat pH sangat berpengaruh terhadap metode yang diterapkan. Dengan penggunaan pH 10 pada pengolahan ini efisiensi penyisihan dari Zn mencapai 98,35%. Ini dapat disebabkan oleh ion OH^- akan terakumulasi pada larutan selama proses elektrolisis berlangsung. Peningkatan pH yang terjadi memberikan kontribusi kepada evolusi hidrogen pada katoda (Bong-yul tak *et al*, 2015).). Peningkatan konsentrasi anion di lapisan katoda menyebabkan peningkatan laju $\text{Zn}(\text{OH})_2$ (Rehan Muhammad Khan, 2005).

Dengan cara pengaturan pH limbah cair sehingga logam-logam membentuk fase padatan atau endapan yang relatif lebih mudah dipisahkan secara fisik misalnya dengan cara sedimentasi dan logam tidak akan terlarut dalam larutan (Suprihatin dan Nastiti, 2010).

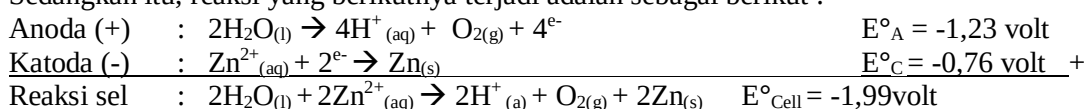
Namun pada variasi NaCl, kombinasi plat dan NaCl, kombinasi pH dan NaCl, serta kombinasi plat, pH dan NaCl menunjukkan bahwa tidak ada pengaruh yang signifikan diberikan terhadap konsentrasi Zn. Hal ini disebabkan oleh persaingan ion yang terdapat pada larutan. Dengan adanya ion Cl^- maka proses elektrolisis bereaksi terhadap ion tersebut yang kemudian dilanjutkan dengan reaksi terhadap Zn. Saat ion Cl^- telah habis bereaksi baru terjadi reaksi Zn sehingga pada saat reduksi Zn tidak ada kehadiran ion Cl^- dan itu membuatnya tidak berpengaruh pada penelitian ini. Selain itu, gelembung yang terbentuk berupa Cl_2 melekat pada anoda sehingga daya hantar pada anoda menurun.

Pada penggunaan elektroda grafit-grafit penyisihan terbaik dihasilkan sebesar 98,48% dalam kondisi konsentrasi NaCl 0 gr/l dan penggunaan pH 10. Pada elektroda grafit-tembaga dihasilkan penyisihan sebesar 98,35% dalam kondisi konsentrasi NaCl 0 gr/l dan penggunaan pH 10. Sehingga dapat disimpulkan bahwa kehadiran NaCl tidak membawa pengaruh terhadap penyisihan Zn.

Sedangkan reaksi yang mungkin terjadi pada anoda dan katoda sehingga menghasilkan reaksi redoks adalah :



Sedangkan itu, reaksi yang berikutnya terjadi adalah sebagai berikut :



Karena adanya penambahan NaCl sebagai elektrolit dan NaOH untuk meningkatkan nilai pH pada proses ini maka semua reaksi akan berjalan berurutan. Pada anoda semakin besar nilai sel potensial (E°) maka akan lebih mudah senyawa itu di oksidasi. Reaksi yang terdapat pada anoda adalah Cl^- dan H_2O . Sel potensial Cl^- lebih besar daripada H_2O sehingga pada anoda yang akan bereaksi terlebih dahulu adalah Cl^- .

Pada katoda reaksi reduksi berjalan berdasarkan sel potensial yang lebih rendah terlebih dahulu. Jika melihat reaksi yang terjadi maka H_2O akan mengalami reduksi terlebih dahulu daripada Zn^{2+} . Karena pada H_2O nilai sel potensial yang dimiliki lebih rendah daripada Zn^{2+} .

Sedangkan reaksi yang akan berlangsung pada penggunaan katoda Cu akan sama pada reaksi yang terjadi pada penggunaan katoda grafit yang dikarenakan katoda tembaga yang digunakan tidak akan bereaksi dalam kondisi apapun. Hal ini disengaja dilakukan penempatan tembaga pada katoda agar tidak terjadi korosi pada tembaga yang digunakan (Wiharti Dkk, 2011).

Berdasarkan reaksi didapat nilai potensial dari keseluruhan reaksi yang terjadi dan dapat ditentukan energi bebas dengan **Persamaan 6** yang didasarkan oleh jumlah elektron yang ada pada reaksi redoks:

Reaksi pertama

$$\begin{aligned}\Delta G &= -2e^- \times 96.500 \text{ C mol}^{-1} \times 0,53 \text{ volt} \\ &= 102.290 \text{ J mol}^{-1} \\ &= -102,29 \text{ kJ mol}^{-1}\end{aligned}$$

Reaksi kedua

$$\begin{aligned}\Delta G &= -4e^- \times 96.500 \text{ C mol}^{-1} \times -1,99 \text{ volt} \\ &= 768.140 \text{ J mol}^{-1} \\ &= 768,14 \text{ kJ mol}^{-1}\end{aligned}$$

Maka nilai ΔG dari keseluruhan reaksi adalah $665,85 \text{ kJ mol}^{-1}$ yang dihasilkan dari penjumlahan kedua energi bebas yang dihasilkan dari masing-masing reaksi. Karena nilai dari ΔG adalah positif maka reaksi dikatakan berjalan kearah tidak spontan. Karena ΔG bernilai positif berarti reaksi berlangsung secara tidak spontan, dibutuhkan energi untuk terjadinya keseluruhan reaksi.

Melihat energi bebas yang dihasilkan memiliki nilai positif dan lebih besar dari nol, maka reaksi yang terjadi dikatakan tidak spontan. Hal ini telah sesuai dengan dasar dari sel elektrolisis yang menyatakan bahwa jika nilai $\Delta G > 0$ maka sel elektrolisa yang berlaku, namun jika $\Delta G < 0$ maka sel volta (sel Galvani) yang berlaku pada pengolahan ini.

KESIMPULAN

Dari penelitian yang dilakukan tentang penyisihan Zn menggunakan metode elektrolisis ini dapat disimpulkan bahwa:

1. Penyisihan Zn paling optimum menggunakan elektroda grafit-grafit pada jam ke-8 dengan tegangan 48 volt dengan penyisihan sebesar 89,74%.
2. Penyisihan Zn paling optimum menggunakan elektroda grafit-tembaga pada jam ke-48 dengan tegangan 48 volt dengan penyisihan sebesar 90,26%.
3. Penggunaan elektroda grafit-grafit maupun grafit-tembaga berjalan pada orde 0 yang berarti konsentrasi Zn tidak berpengaruh terhadap laju reaksi.
4. Hasil uji statistik ANOVA multifaktor menunjukkan bahwa NaCl, kombinasi plat dan NaCl, kombinasi pH dan NaCl serta kombinasi plat, pH dan NaCl tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap konsentrasi Zn.
5. Hasil uji statistik ANOVA multifaktor menunjukkan bahwa plat, pH dan kombinasi plat dan pH memberikan pengaruh yang sangat signifikan terhadap konsentrasi Zn.
6. Pengolahan pada variasi pH dan NaCl menggunakan elektroda grafit-grafit optimum pada pH 10 dengan konsentrasi NaCl 0 gr/l dengan penyisihan sebesar 98,48%.
7. Pengolahan pada variasi pH dan NaCl menggunakan elektroda grafit-tembaga optimum pada pH 10 dengan konsentrasi NaCl 0 gr/l dengan penyisihan sebesar 98,35%.
8. Energi bebas Gibbs yang dihasilkan adalah sebesar $665,85 \text{ kJ mol}^{-1} > 0$ berdasar pada keseluruhan reaksi yang terjadi selama pengolahan berlangsung yang dimana dengan nilai $\Delta G > 0$ telah sesuai dengan dasar sel elektrolisis.

Daftar Pustaka

- A.G. Vlyssides, M. Loizidou, P.K. Karlis, A.A. Zorpas, D. Papaioannou. (1999). Electrochemical Oxidation of a Textile Dye Wastewater Using a Pt/Ti Electrode. *Journal Of Hazardous Materials*, 41-52.
- Al-Kdasi A, Idris A, Saed K, Guan CT. (2004). Treatment of textile wastewater by advanced oxidation process-a review. *Global Nest* , 6, 222-230.
- Bong-yul Tak, Bong-sik Tak, Young-ju Kim, Yong-jin Park, Young-hun Yoon, Gil-ho Min. (2015). Optimization of color and COD removal from livestock wastewater by electrocoagulation process:

- Application of Box–Behnken design (BBD) . *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* , 307-315.
- Friska, D. (2013). *Efektifitas Biji Jayanti (Sesbania sesban) sebagai biokoagulan dalam memperbaiki sifat fisik dan kimiawi limbah cair industri batik*. Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia.
- Jiaxiu Zou, Xiaolan Peng, Miao Li, Ying Xiong, Bing Wang, Faqin Dong, Bin Wang. (2016). *Electrochemical oxidation of COD from real textile wastewaters: Kinetic study and energy consumption*. *Chemosphere* , 332-338
- Laguna-Bercero, M. (2012). Recent advances in high temperature electrolysis using solid oxide fuel cells: A review. *Journal of Power Sources* , 4-16.
- Li Yu, Mei Han, Fang He. (2013). A review of treating oily wastewater. *Arabian Journal of Chemistry* , 1-10.
- Neha Tyagi, Sanjay Mathur, Dinesh Kumar. (2013). Electrocoagulation process for textile wastewater treatment in continuous upflow reactor. *Journal of Scientific & Industrial Research* , 73, 195-198.
- P.asaithambi, Manickam Matheswaran. (2011). Electrochemical treatment of simulated sugar industrial effluent: Optimization and modeling using a response surface methodology. *Arabian Journal of Chemistry* , 1-7.
- Santoso, S. (2001). *Mengolah Data Statistik Secara Profesional*. Jakarta: PT. Alex Media Komputindo.
- Wiharti, Riyanto dan Fitri, N. 2014. Aplikasi Metode Elektrolisis Menggunakan Elektroda Platina (Pt), Tembaga (Cu) dan Karbon (C) untuk Penurunan Kadar Cr dalam Limbah Cair Industri Penyamakan Kulit di Desa Sitimulto, Piyungan, Bantul, Yogyakarta. Yogyakarta: Jurusan Ilmu Kimia, FMIPA, Universitas Islam Indonesia.