

Isolasi Emas dari Larutan Kompleks Emas Thiourea Hasil Ekstraksi dengan Metode Elektrolisis (Gold Isolation from Gold-Thiourea Complex Solution of Extraction by Electrolysis Methode)

Nursiah, Tanti Haryati, Novita Andarini
Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember (UNEJ)
Jln. Kalimantan 37, Jember 68121
E-mail: tanti@unej.ac.id

Abstrak

Emas merupakan logam mulia dan memiliki nilai ekonomi yang tinggi. Metode pemisahan emas dari campurannya yang biasa digunakan yaitu amalgamasi dan sianidasi. Metode isolasi alternatif yang dapat digunakan yakni dengan *leaching* menggunakan pelarut thiourea dilanjutkan dengan pemisahan kompleks yang terbentuk dengan elektrolisis. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan waktu optimum dan luas permukaan katoda optimum menggunakan karbon selama elektrolisis berlangsung. Variasi waktu elektrolisis yang diterapkan sebesar 60; 90; 120; 150; 180; dan 210 detik. Waktu optimum yang diperoleh yaitu pada 150 detik dengan persentase penurunan Au dalam larutan sebesar 98,99% diikuti kenaikan massa katoda sebesar 0,02 mg. Elektrolisis selanjutnya dilakukan dengan variasi luas permukaan katoda karbon 0,1256; 0,2462; dan 0,5064 cm² dengan waktu 150 detik. Luas permukaan optimum yang diperoleh pada 0,2462 cm² dengan hasil penurunan Au dalam larutan sebesar 98,459% dan kenaikan massa katoda 0,020 mg.

Kata Kunci: elektrolisis, emas, *leaching*, thiourea.

Abstract

Gold is a precious metal and has a high economic value. The method of separating gold from the alloy is amalgamation and cyanidation. Alternative isolation method that can be used that is by leaching using thiourea solvent followed by separation of complex that formed by electrolysis. This study aims to determine the optimum time and surface area of optimum cathode using carbon during the electrolysis takes place. Variation of electrolysis time applied is 60; 90; 120; 150; 180; And 210 seconds. The optimum time was obtained at 150 s with the percentage of Au decrease in solution of 98.99% followed by cathode mass increase of 0.02 mg. The subsequent electrolysis was carried out with a variation in the surface area of the carbon cathode 0.1256; 0.2462; And 0.502 cm² with a time of 150 seconds. The optimum surface area obtained at 0.2462 cm² with a decrease of Au in solution of 98.459% and a 0.020 mg cathode mass increase.

Keywords: electrolysis, gold, leaching, thiourea.

PENDAHULUAN

Emas termasuk golongan logam mulia yang banyak dicari karena memiliki nilai ekonomi yang tinggi. Emas dalam batuan dapat diisolasi dari logam-logam lainnya melalui proses ekstraksi pirometalurgi yaitu dengan menggunakan energi panas, ataupun hidrometalurgi seperti sianidasi dan amalgamasi yang sering digunakan[1]. Metode pemisahan emas melalui sianidasi dan amalgamasi sangat efektif dan sederhana dengan tingkat kemurnian mencapai 80%, namun limbah cairan sianida dan gas raksa yang dibuang ke lingkungan memberikan dampak negatif karena merupakan racun yang sangat berbahaya bagi makhluk hidup di sekitarnya termasuk manusia dan tidak mudah terurai[2].

Metode *leaching* thiourea (CS(NH₂)₂) dikembangkan sebagai alternatif yang dianggap jauh lebih aman dari metode sianidasi dan amalgamasi. Oksidator Fe dapat ditambahkan dalam meningkatkan kestabilan thiourea dalam proses *leaching* emas menggunakan pelarut thiourea [3]. Kompleks yang terbentuk perlu dilakukan proses isolasi untuk memisahkan emas yang diperoleh dengan larutan thiourea, salah satunya yang paling sederhana melalui proses elektrolisis. Elektrolisis pada logam mulia dan campurannya dengan elektrolit yang memiliki berbagai komposisi banyak digunakan dalam produksi perhiasan dan

pemisahan logam. Proses isolasi emas dengan elektrolisis sangat sederhana tanpa melibatkan adanya penambahan reagen.

Elektroda yang biasa digunakan selama proses elektrolisis berupa karbon, logam platina, maupun emas. Elektroda karbon yang digunakan yakni karbon dengan struktur grafit yang menghubungkan atom-atom karbon membentuk orbital hibridisasi sp², sehingga memungkinkan terjadinya pergerakan elektron dan dapat menghantarkan listrik. Keuntungan menggunakan elektroda karbon yaitu harganya yang relatif murah dibandingkan dengan elektroda logam dan proses pemurnian dari elektroda karbon lebih sederhana jika dibandingkan dengan pemurnian elektroda logam[4].

Penggunaan metode elektrolisis dalam *recovery* emas membutuhkan adanya energi listrik dari luar sistem. Energi ini diperoleh dari potensial yang dialirkan dalam rangkaian elektrolisis. Besarnya tegangan yang dialirkan selama proses elektrolisis akan mempengaruhi hasil yang diperoleh, karena masing-masing logam memiliki nilai potensial reduksi dan oksidasi berbeda bahkan dalam bentuk kompleksnya sekalipun. Teknik voltametri siklik digunakan dalam penentuan tegangan optimum pada kompleks emas thiourea dengan material elektroda perak (Ag) sebagai elektroda kerja yang telah dipolarisasi. Pada

proses ini kompleks emas akan mengalami reduksi dan oksidasi pada permukaan ujung elektroda dengan memunculkan nilai arus yang terukur pada *range* potensial tertentu[5].

Elektrolisis kompleks larutan emas thiourea, elektroda yang digunakan dalam berupa karbon grafit dan platina. Karbon berperan sebagai katoda, sedangkan platina berperan sebagai anoda dengan elektrolit berasal dari kompleks larutan emas thiourea. Pada penelitian ini akan diperoleh besarnya efektifitas penggunaan pelarut thiourea dalam pembentukan kompleks emas thiourea. Selanjutnya, dapat dibandingkan konsentrasi emas yang larutan saat sebelum dan setelah elektrolisis. Hasil optimum diperoleh berdasarkan variasi waktu dan luas permukaan katoda yang diterapkan selama proses elektrolisis berlangsung.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Bahan yang dibutuhkan dalam penelitian ini antara lain: batuan emas dari tambang emas banyuwangi, HCl (*merck* 37%), HNO₃ (*merck* 65%), H₂SO₄ (*merck* 98%), CS(NH₂)₂ (*merck*), FeCl₃·6H₂O (*merck*), CuSO₄·5H₂O (*merck*), Larutan standar emas, dan akuades.

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain : gelas beaker 50 mL; 100 mL; 250 mL, labu ukur 25 mL; 50 mL; 100 mL; 250 mL, pipet *mohr* 10 mL, pipet volume 1 mL, pipet tetes, corong kaca, spatula, lumpang dan alu, *ball* pipet, gelas arloji, termometer, gelas ukur 10 mL; 50 mL, pengaduk, botol semprot, corong, saringan 100 mesh, neraca analitik (*Ohaus Analytical Plus*), AAS (*Buck Scientific*), neraca mikro (*Sartorius Ultra-micro & Micro Analytical Balance*), *X-Ray Fluorescence* (XRF), *stirer magnetic* dan pemanas listrik (*Lab Companion HP-3000*), pH meter (*Jenway 3505*), lumpang besi, kertas saring whatman no 41, set alat elektrolisis, elektroda karbon baterai bekas, elektroda Ag, elektroda Ag/AgCl potensiostat AMEL Model 433 dan voltmeter.

Hidrometalurgi dengan Akua Regia

Serbuk batuan emas berukuran 70 mesh yang diperoleh sebanyak 5 gram dimasukkan ke dalam *beaker glass* 250 mL, kemudian ditambahkan 12,5 mL larutan standar Au 10 ppm, 50 mL aqua regia, dan 187,5 mL akuades. Campuran diaduk, didiamkan 24 jam dan difiltrasi. Filtrat yang diperoleh diambil sebanyak 10 mL dan dilakukan pengukuran kadar emas dengan menggunakan spektroskopi serapan atom. Larutan aqua regia dibuat dari campuran HCl pekat dan HNO₃ pekat dengan perbandingan 3:1[2].

Pre-treatment dengan Asam

Serbuk batuan emas halus sebanyak 5 gram dimasukkan ke dalam gelas beaker ukuran 250 mL dan ditambahkan larutan H₂SO₄ 0,5 M sebanyak 102 mL dengan perbandingan padatan/larutan 1:2. Larutan direndam selama 2 jam untuk selanjutnya dilakukan pencucian sebanyak 3 kali[2]. Batuan hasil pre-treatment dilakukan analisis kandungan logam yang dimiliki menggunakan uji X-Ray Fluorescence (XRF).

Leaching dengan Thiourea

Larutan *leaching* sebanyak 50 mL dimasukkan ke dalam gelas beaker 250 mL dan ditambahkan larutan Fe³⁺ dengan

volume 50 mL. Sebanyak 5 gram serbuk batuan dilarutkan dalam larutan campuran. Campuran ditambahkan dengan larutan standar Au 25 ppm sebanyak 2,2 mL, setelah itu ditambahkan H₂SO₄ 0,5 M sampai pH 2. Larutan diaduk dengan menggunakan stirer selama 6 jam. Setelah 6 jam, sampel disaring untuk memisahkan larutan dengan endapannya. Filtrat larutan yang diperoleh kemudian diuji dengan menggunakan spektrometri serapan atom.

Optimasi Waktu Elektrolisis

Elektrolisis larutan kompleks Emas thiourea dilakukan pada suhu ruang, dengan variasi waktu elektrolisis yaitu 60, 90, 120, 150, 180 dan 210 detik. Bagian anoda dan katoda keduanya digunakan karbon grafit dengan elektrolit berupa larutan kompleks Emas thiourea hasil proses *leaching*. Tegangan optimum yang diperoleh dari scanning voltametri siklik diterapkan pada proses elektrolisis[6]. Massa elektroda sebelum dan sesudah proses elektrolisis ditimbang menggunakan neraca analitik.

Optimasi Luas Permukaan Katoda

Elektrolisis larutan kompleks Emas thiourea dilakukan pada suhu ruang, dengan waktu elektrolisis optimum dan tegangan optimum yang diperoleh dari scanning voltametri siklik diterapkan selama proses elektrolisis dengan variasi luas permukaan katoda karbon yang digunakan yaitu 0,1256; 0,2462; dan 0,5064 cm². Massa elektroda sebelum dan sesudah proses elektrolisis ditimbang menggunakan neraca analitik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Konsentrasi Au Awal dengan Akua Regia

Analisis kadar logam emas pada batuan awal dilakukan dengan melarutkan batuan dalam aqua regia yang dibuat dari campuran HCl dan HNO₃ dengan perbandingan 3:1. $3\text{HNO}_3(aq) + 4\text{HCl}(aq) + \text{Au}(s) \rightleftharpoons 3\text{NO}_2(g) + \text{HAuCl}_4(aq) + 4\text{H}_2\text{O}(l)$ [7].

Sampel yang diperoleh dari proses destruksi dianalisis menggunakan AAS untuk mengetahui nilai absorbansi yang dihasilkan. Kandungan Au awal sangat kecil dalam sampel, sehingga pada penelitian ini dilakukan standar adisi pada sampel saat proses destruksi dan *leaching* dengan larutan standar Au 0,5 ppm sehingga konsentrasi Au dalam sampel dapat teramati.

Hasil absorbansi digunakan untuk menentukan konsentrasi awal logam Au yang terkandung dalam sampel awal sebelum dilakukan proses hidrometalurgi. Nilai absorbansi dan konsentrasi yang terdapat dalam larutan hasil destruksi dengan aqua regia dapat dilihat pada data tabel 1:

Tabel 1. Persentase kandungan logam emas (Au) dalam sampel sebelum proses hidrometalurgi

| Sampel | Berat sampel awal (gram) | Kandungan logam Au dalam sampel (%) |
|-----------|--------------------------|-------------------------------------|
| 1 | 5,002 | 0,003 |
| 2 | 5,006 | 0,003 |
| 3 | 5,006 | 0,003 |
| rata-rata | 5,005 | 0,003 |

Berdasarkan tabel 1 diatas kandungan logam emas yang

terdapat dalam larutan hasil hidrometalurgi dapat dikatakan homogen dengan kandungan dalam setiap sampel sebesar 0,003%. Kadar 0,003% yang diperoleh setara dengan 0,133 mg, dengan jumlah standar adisi yang ditambahkan sebanyak 0,5 ppm (0,125 mgram), dapat diketahui bahwa massa Au yang berada dalam sampel awal hanya sebesar 0,008 mgram (0,0000016%).

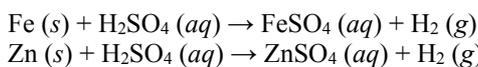
Analisis Pre-treatment dengan Asam

Analisis kandungan yang ada dalam sampel dilakukan dengan menggunakan XRF (*X-Ray Fluorescence*), sehingga diketahui komposisi kimia yang terkandung dalam sampel batuan. Kandungan sampel batuan yang digunakan tidak hanya mengandung logam emas, namun juga logam-logam lain yang terdapat secara alami seperti besi (Fe), seng (Zn), dan tembaga (Cu). Logam-logam tersebut perlu dihilangkan dengan melakukan *pre-treatment* terhadap sampel batuan menggunakan H_2SO_4 0,5 M selama 2 jam. Proses *pre-treatment* dilakukan selama 2 jam dikarenakan proses *pre-treatment* yang terlalu lama dapat meningkatkan konsumsi H_2SO_4 dengan peningkatan efektifitas relatif sama[8]. Hasil persentase kandungan sampel batuan setelah proses *pre-treatment* dapat dilihat pada tabel 2 sebagai berikut:

Tabel 2. Persentase kandungan logam dalam sampel sebelum dan setelah proses pretreatment dengan asam

| Logam | Konsentrasi Sebelum Pretreatment (%) | Konsentrasi Sesudah Pretreatment (%) |
|-------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Fe | 8,99 | 7,77 |
| Cu | 0,02 | 0,02 |
| Zn | 0,02 | 0,02 |

Berdasarkan tabel 2 dapat dilihat bahwa kadar logam Fe dalam sampel mengalami penurunan setelah perlakuan *pre-treatment*. Hal ini terjadi karena logam Fe akan terlarut dalam H_2SO_4 encer begitupun dengan logam Zn, namun pada data hasil *treatment* tidak menunjukkan penurunan. Hal ini dapat terjadi dikarenakan kadar yang teramat kecil dalam sampel pasir. Persamaan reaksi yang terjadi yaitu sebagai berikut:



Logam Cu pada data hasil tidak menunjukkan penurunan selama proses *pre-treatment*, karena logam Cu bereaksi terhadap H_2SO_4 pekat atau H_2SO_4 panas, sedangkan untuk H_2SO_4 encer logam Cu sangat sulit bereaksi. Reaksi yang terjadi antara logam Cu dengan H_2SO_4 pekat yakni sebagai berikut:

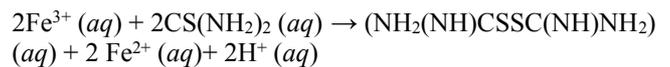


Analisis Leaching dengan Thiourea

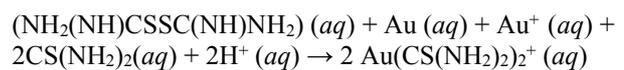
Sampel batuan setelah *pre-treatment* akan direaksikan dengan thiourea dan oksidator $FeCl_3$. Sebelum dilakukan proses *leaching*, campuran perlu diasamkan menggunakan H_2SO_4 0,5 M sampai pH 2 karena thiourea bersifat tidak stabil dan mudah terurai dalam larutan kondisi basa, sehingga ketika *leaching* berlangsung suasana sistem harus bersifat asam dengan kondisi suhu ruang serta proses *leaching* dilakukan selama 6 jam. Agen pengasaman digunakan H_2SO_4 0,5 M untuk menghindari penurunan pH

yang terlalu tinggi pada penambahan sedikit H_2SO_4 , sehingga penurunan pH dapat dikontrol. Oksidator Fe berperan dalam mengoksidasi thiourea untuk diubah menjadi formamidine disulfida. Formamidine disulfida nantinya akan menjadi oksidator yang sangat aktif sehingga dapat meningkatkan hasil isolasi emas dengan waktu yang lebih cepat[3].

Hasil absorpsi dan efektifitas pembentukan kompleks emas setelah proses *leaching* menunjukkan bahwa kadar Au yang terukur cukup tinggi yaitu sebesar 71,6-87%. Reaksi yang terjadi selama proses *leaching* berlangsung terdapat dalam dua tahapan. Tahap pertama terjadi reaksi antara Fe dengan thiourea untuk membentuk formamidine disulfida sesuai reaksi berikut:



Setelah tahapan ini, reaksi akan berlangsung lebih lambat secara konsisten karena terbentuknya ikatan koordinasi logam-ligan yang sangat stabil antara besi dengan thiourea[9]. Tahapan kedua yaitu reaksi antara emas dengan formamidine disulfida menghasilkan kompleks emas thiourea yang memiliki muatan positif. Hasil kompleks yang terbentuk terlihat kontras jika dibandingkan dengan kompleks emas yang terbentuk menggunakan metode lainnya yang memiliki muatan negatif[10]. Reaksi yang terjadi yaitu sebagai berikut:



Analisis Waktu Optimum Elektrolisis

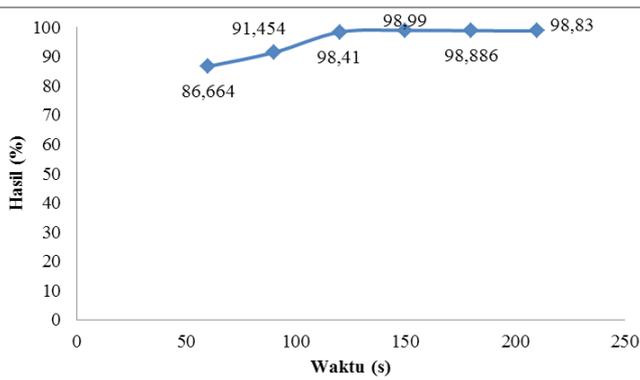
Kompleks emas yang dihasilkan dapat dipisahkan salah satunya menggunakan metode elektrolisis. Selama elektrolisis berlangsung, besarnya tegangan yang diterapkan ditentukan melalui scanning voltametri. Jenis voltametri yang digunakan pada penelitian ini berupa voltametri siklik untuk mengetahui besarnya arus yang dihasilkan oleh kompleks $Au(CS(NH_2)_2)_2^+$ pada *range* tegangan yang diberikan, sehingga dapat diketahui tegangan optimum reduksi yang terbaca. Hasil voltametri siklik yang diperoleh dapat dilihat pada tabel 4 berikut

Tabel 4. Tegangan optimum kompleks $Au(CS(NH_2)_2)_2^+$ dengan voltametri siklik

| Larutan | Tegangan (V) |
|-----------|--------------|
| 1 | 0,312 |
| 2 | 0,332 |
| 3 | 0,352 |
| Rata-rata | 0,332 |

Adanya kandungan H_2SO_4 dalam larutan dapat membantu sebagai katalis dalam mempermudah penguraian H_2O menjadi H_2 dan O_2 karena suasana asam akan mempengaruhi kestabilan air menjadi ion-ionnya yang lebih mudah dielektrolisis oleh pengaruh penurunan energi pengaktifan.

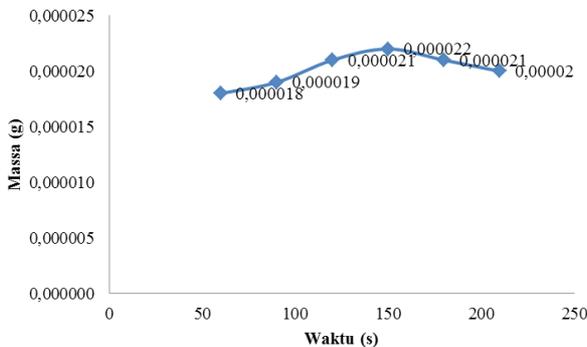
Proses elektrolisis dilakukan dengan waktu 60 detik, 90 detik, 120 detik, 150 detik, 180 detik, dan 210 detik. Analisis data dilakukan dengan analisis larutan sisa elektrolisis dan massa katoda. Hasil data sisa larutan elektrolisis dapat dilihat pada gambar 1 berikut:



Gambar 1. Kurva penentuan waktu optimum elektrolisis berdasarkan penurunan konsentrasi kompleks emas pada larutan

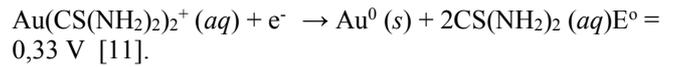
Gambar 1 menunjukkan bahwa hasil persentase tertinggi penurunan konsentrasi emas sebelum dan setelah elektrolisis terjadi pada waktu 150 detik sebesar 98,99%. Selama proses elektrolisis sebelum 150 detik, kompleks emas tidak sepenuhnya mengalami reduksi, sehingga masih ada kompleks emas yang teridentifikasi pada larutan sisa setelah elektrolisis. Hal ini sesuai dengan hukum Faraday, yaitu massa hasil elektrolisis atau persentase hasil akan meningkat dengan semakin meningkatnya waktu elektrolisis. Sedangkan, diatas 150 detik, presentase penurunan konsentrasi kompleks emas dalam larutan tidak menunjukkan adanya peningkatan signifikan dan cenderung tetap karena pada waktu diatas 150 detik, konsentrasi kompleks emas sudah dianggap habis, sehingga persentase tidak mengalami peningkatan.

Penentuan waktu optimum juga ditunjukkan pada penambahan massa katoda yang dilihat pada gambar 2 berikut:



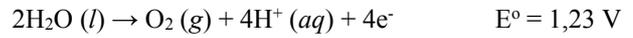
Gambar 2. Kurva penentuan waktu optimum elektrolisis berdasarkan kenaikan massa katoda

Gambar 2 menunjukkan bahwa peningkatan massa katoda tertinggi yaitu 0,022 mg. Hasil yang diperoleh sesuai dengan data hasil pada sisa larutan elektrolisis. Selama proses elektrolisis berlangsung, reduksi kompleks emas akan terjadi pada katoda dan pada sisi anoda akan mengalami oksidasi air. Kompleks emas dapat mengalami reduksi pada sisi katoda karena berdasarkan deret volta, emas (Au) berada lebih kanan dibanding dengan hidrogen (H), dan tegangan reduksi emas ($E^0_{red} = +1,52$ V) lebih tinggi jika dibandingkan dengan tegangan reduksi air ($E^0_{red} = -0,83$ V), sehingga emas akan lebih mudah direduksi pada katoda sesuai reaksi berikut:

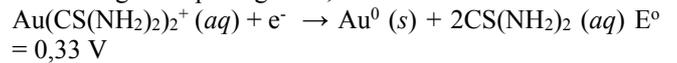


Analisis Luas Permukaan Katoda Optimum

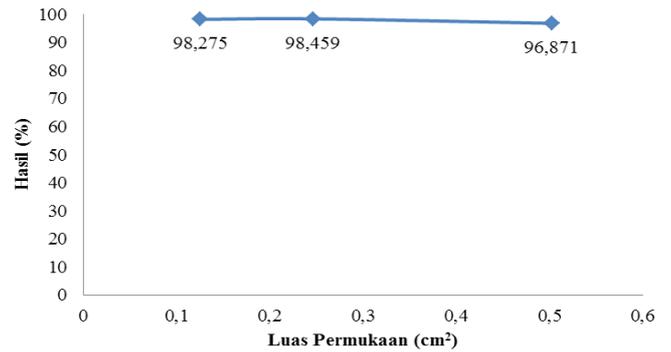
Permukaan elektroda merupakan bagian yang penting dalam elektrolisis, karena pada permukaan elektroda ini akan berlangsung proses reduksi dan oksidasi analit. Pada permukaan anoda akan terjadi oksidasi air membentuk gas O₂ yang ditandai dengan timbulnya gelembung sesuai reaksi berikut:



Pada sisi katoda, reduksi kompleks emas berlangsung sehingga Au⁰ yang terbentuk akan menempel pada permukaan katoda dan mengakibatkan massa dari katoda akan mengalami peningkatan, sesuai reaksi berikut:

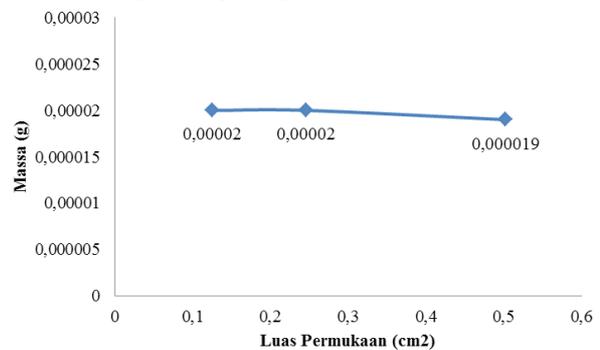


Selama proses elektrolisis berlangsung, arus yang digunakan sebesar 0,2 A dan tegangan sebesar 0,33 V selama 150 detik. Karbon katoda dengan berbeda luas permukaan berasal dari karbon baterai dengan ukuran yang berbeda yaitu dengan luas permukaan katoda sebesar 0,1256 cm², 0,2462 cm², dan 0,5024 cm². Hasil yang diperoleh pada variasi luas permukaan katoda dapat dilihat gambar 3 berikut:



Gambar 3. Kurva penentuan luas permukaan katoda optimum elektrolisis berdasarkan penurunan konsentrasi kompleks emas pada larutan

Gambar 3 menunjukkan bahwa luas permukaan katoda dengan hasil persentase tertinggi pada 0,2462 cm² sebesar 98,459%, meskipun pada katoda 0,1256 cm² dan 0,5024 cm² memiliki nilai yang tidak terlalu jauh berbeda. Hasil analisis ditunjukkan pada gambar 4 berikut:



Gambar 4. Kurva penentuan luas permukaan katoda optimum elektrolisis berdasarkan kenaikan massa katoda

Gambar 4. menunjukkan bahwa data pada karbon 0,1256 cm² dan 0,2462 cm² menunjukkan kenaikan massa katoda yang sama, namun hasil tersebut tidak mengalami anomali jika dibandingkan dengan grafik 4.7, sehingga kedua data tersebut dapat dikatakan sesuai. Luas permukaan yang tercelup akan mempengaruhi kecepatan dan banyaknya massa yang berada pada elektroda[13]. Namun, pada luas permukaan 0,5024 cm² persentase hasil mengalami penurunan. Menurunnya persentase massa katoda ini menandakan adanya penurunan efisiensi. Efisiensi yang dihasilkan dipengaruhi oleh rapat arus dalam satuan luas permukaan. Pada luas permukaan katoda yang semakin besar dengan arus rendah mengakibatkan keadaan tidak seimbang, dikarenakan semakin besar luas permukaan semakin besar tarikan elektron yang ada, sedangkan arus yang diterapkan rendah. Penurunan efisiensi juga disebabkan adanya reaksi samping yaitu terbentuknya gas hidrogen di katoda atau terbentuknya oksigen di anoda akibat terjadinya penguraian air yang terdapat dalam larutan, dan habisnya ion-ion logam dekat katoda[14]. Selain itu, penerapan potensial sebesar 0,33 V yang mendekati dengan potensial reduksi Cu (0,34 V), dapat pula menjadi faktor pengganggu selama elektrolisis. Hal ini dapat terjadi karena pada luas permukaan yang semakin tinggi diiringi dengan peningkatan tarikan elektron dipermukaan elektroda, dimungkinkan mampu mereduksi ion Cu apabila ada ion Cu yang terdapat larutan, sehingga menghalangi ion Au yang jauh dari katoda.

KESIMPULAN

Efektifitas *Leaching* emas dengan pelarut thiourea sebesar 71,6%- 87% dengan waktu optimum elektrolisis yang diperoleh yaitu pada 150 detik dengan persentase sebesar 98,99% disertai peningkatan massa katoda sebesar 0,022 mg dan luas permukaan katoda optimum sebesar 0,2462 cm² dengan persentase sebesar 98,46% disertai peningkatan massa katoda sebesar 0,020 mg.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia yang telah memberikan dukungan finansial melalui Beasiswa Bidik Misi tahun 2013-2017.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ashley, R. P., H. Kirkemo., dan W.L. Newman. 2015. Gold. *Science for a Changing World*. U.S Geological Survey.
- [2] Dasna, W. I., Parlan, dan M. Susiyadi. 2013. Pemisahan Emas Dari Batuan Alam Dengan Metode Reduktor Ramah Lingkungan. *Seminar Nasional*. Malang: FMIPA UNDIKSHA.
- [3] Badriyah, L. 2016. Penentuan Jumlah Oksidator pada Proses Isolasi Emas dari Batuan Menggunakan

Larutan Thiourea. *Skripsi*. Jember: Program Studi Kimia Universitas Jember.

- [4] Artadi, A., Sudaryo., dan Aryadi. 2007. Penggunaan Grafit Batu Batrai Sebagai Alternatif Elektroda Spektrografi Emisi. *JFN*. Jurusan Teknokimia Nuklir STTN-BATAN. 1(2): 1-16.
- [5] Andriani, V. 2007. Pengembangan Sensor Voltametri N₂O dengan Optimalisasi Polarisasi Elektroda dan Konsentrasi Elektrolit Menggunakan Elektroda Kerja Perak (Ag). *Skripsi*. Jember. Program Studi Kimia Universitas Jember.
- [6] Ficeriova, J. dan Balaz, P. 2012. Electrolysis of Gold from Filtration Waste by Means of Mechanical Activation. *Acta Metallurgica Slovaca*. 17(2): 132-136.
- [7] Svehla, G. 1979. *Quantitative Inorganic Analysis*. Amerika: longman Inc., New York. Terjemahan oleh L. Setiono dan A. Hadyana P.1985. *Analisis Anorganik Kualitatif*. Jakarta: PT. Kalman Media Pustaka.
- [8] Bouchet, P. L., G. Deschenes dan E. Ghali. 1998. Thiourea leaching of a copper-gold ore using statistical design. *Hydrometallurgy*. 47(2): 189-203.
- [9] Maslowska, J. 1969. Mixed Complexes of Iron(III). *Chemia*. 20:5-14.
- [10] Chen, C.K., Lung, T.N., dan Wan, C.C. 1980. A Study of The Leaching of Gold and Silver by Acidithiourea. *Hydrometallurgy*. 5:207-212.
- [11] Zhang, H., I. M. Ritchhie, dan S.L.R, Brooy. 2001. Electrochemical Oxidation of Gold and Thiourea in Acidic Thiourea Solutions. *Journal of The Electrochemical Society*. 10: 148.
- [12] Dogra, S. K . 1984. *Physical Chemistry Through Problems*. New Delhi: New Age International. U, Mansyur. 1990. *Kimia Fisik dan Soal – Soal*. Jakarta : UI Press.
- [13] Sopiah, S. 2008. Analisis Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Proses Elektrolisis Larutan CuSO₄ Sebagai Bahan Kajian dalam Pembuatan Modul Praktikum dan Pembelajaran Elektronik. Tesis. Bandung: Program Studi Kimia Universitas Jember.