

STUDY ON EFFECT OF pH AND METAL CONCENTRATION ON THE SYNTHESIS OF DIMENSIONALLY STABLE ANODE GRAPHITE/La₂O₃-ZrO₂ AND GRAPHITE/RuO₂-TiO₂

Kajian Pengaruh pH dan Konsentrasi Logam Pada Pembuatan Anoda Berdimensi Stabil Gafit/La₂O₃-ZrO₂ dan Gafit/RuO₂-TiO₂

Suyanta* and Agus Kuncaka

Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences,
Gadjah Mada University, Sekip Utara, Yogyakarta, Indonesia 55281

Received 20 March 2006; Accepted 21 April 2006

ABSTRACT

The objective of this research is to study the effect of pH and metal concentration toward the mass of metal oxides coated on graphite in the synthesis of dimensionally stable anode (DSA) graphite/La₂O₃-ZrO₂ and graphite/RuO₂-TiO₂. The synthesis of those DSA was done by thermal decomposition technique. The solution containing metal ion to be coated (as its oxides) on the graphite, followed by heating. Those spraying and heating were repeated up to ten times, so that it was expected that all of graphite surface was covered by the metal oxides. It was concluded that the mass of metal oxides coated on the graphite was affected by the pH and concentration of metals in the solution to be sprayed. Treatment by using solution at pH of 4 and 6 produced more in mass of metal oxides mixture than using solution of 1 and 2 on pHs. DSA graphite/La₂O₃-ZrO₂ produced by treatment using solution of 4 and 6 on pHs contained more in mass of La₂O₃ than of ZrO₂; meanwhile DSA graphite/RuO₂-TiO₂ produced in this research (for all of treatment) contained more in mass of RuO₂ than of TiO₂.

Keywords: Dimensionally Stable Anode, graphite, La₂O₃-ZrO₂, RuO₂-TiO₂.

PENDAHULUAN

Ekstraksi elektrolitik aluminium dalam skala industri dewasa ini umumnya menggunakan proses Haal yang memanfaatkan grafrit sebagai anoda [1,2]. Penggunaan anoda grafrit ini memiliki kelemahan, yaitu karena dioperasikan pada suhu yang cukup tinggi (sekitar 1000 °C) mengalami oksidasi sehingga harus diganti secara periodik, lagipula hasil oksidasinya berupa gas-gas CO dan CO₂ yang polutif [2,3]. Penggunaan anoda berdimensi stabil (*Dimensionally Stable Anode*, DSA) merupakan salah satu alternatif yang dapat digunakan untuk mengatasi kelemahan tersebut.

Anoda berdimensi stabil tersusun oleh lapisan aktif elektrokimia yang diendapkan pada suatu padatan pendukung. Pada umumnya lapisan tersebut merupakan lapisan biner oksida logam, salah satu oksida bersifat konduktif, sedangkan oksida yang lain bersifat inert. Bentuk umum DSA adalah Me/AO_x-BO_y, dengan Me merupakan suatu pendukung, AO_x sebagai oksida konduktif dan BO_y sebagai oksida inert. Oksida konduktif mempunyai sifat yang baik untuk reaksi yang diinginkan dan tahan terhadap korosi. Oksida inert bersifat menjamin dispersi tinggi, melindungi pendukung dari korosi dan kekuatan kohesi lapisan. Prinsip kerja DSA adalah mengoksidasi anion elektroaktif, menghasilkan spesies teroksidasi dan elektron. Setelah

reaksi oksidasi sifat fisik anoda harus sama seperti sebelum reaksi berlangsung [4].

Sejak ditemukan oleh Beer pada tahun 1966, banyak penelitian tentang DSA telah dilakukan. Dalam industri alkali klorida dikenal anoda Ti/RuO₂-TiO₂ yang sangat baik untuk reaksi pelepasan klor pada suhu rendah dalam larutan encer [5,6] demikian juga dalam pembuatan natrium klorat dan natrium perklorat [2]. Dalam tulisan ini dilaporkan hasil kajian pengaruh pH dan konsentrasi ion logam terhadap massa oksida logam yang terlapis pada grafrit dalam pembuatan anoda berdimensi stabil grafrit/La₂O₃-ZrO₂ dan grafrit/RuO₂-TiO₂. DSA yang dihasilkan dalam penelitian ini diharapkan dapat diaplikasikan untuk elektrodposisi aluminium dari leburan AlCl₃-NaCl-BaCl₂ pada suhu yang relatif rendah, yaitu ± 100 °C.

METODE PENELITIAN

Bahan

Bahan kimia yang akan digunakan dalam penelitian ini sebagian besar berkualitas analitik (*analytical grade*) produksi Merck, meliputi bahan yang akan digunakan dalam pembuatan DSA, yaitu: grafrit, LaCl₃, ZrOC₁₂.8H₂O, RuCl₃ dan TiO₂; dan bahan-bahan pendukung seperti NaOH, HCl, etanol, akuabides, dan lain-lain.

* Corresponding author. Phone/Fax : 0062-274-545188

Alat

Instrumen/peralatan utama yang digunakan adalah: tungku pembakar, sprayer, kompresor, dan pH-meter.

Prosedur Kerja

Pembuatan DSA dilakukan dengan teknik dekomposisi termal, mengacu pada teknik yang dikembangkan oleh Connellis dan Vercesi [7].

Pembuatan DSA gafit/La₂O₃-ZrO₂

Disiapkan 20 potong gafit berbentuk balok dengan ukuran 0,5 x 1,0 x 5,0 cm. Potongan-potongan gafit ini dicuci dengan etanol absolut, dipanaskan pada suhu 110 °C selama 1 jam, kemudian ditimbang dan disimpan dalam desikator.

Dibuat 20 macam larutan ber-pH 1 yang mengandung La(III) dan Zr(IV) dengan perbandingan molaritas La(III) : Zr(IV) bervariasi, yaitu masing-masing 0,01 : 0,00; 0,01 : 0,01; 0,01 : 0,02; 0,01 : 0,03; 0,01 : 0,04; 0,01 : 0,05; 0,01 : 0,06; 0,01 : 0,07; 0,01 : 0,08; 0,01 : 0,09; 0,01 : 0,10; 0,02 : 0,01; 0,03 : 0,01; 0,04 : 0,01; 0,05 : 0,01; 0,06 : 0,01; 0,07 : 0,01; 0,08 : 0,01; 0,09 : 0,01; 0,10 : 0,01.

Deretan larutan tersebut disemprotkan dengan merata menggunakan sprayer masing-masing pada gafit yang telah disiapkan. Selanjutnya gafit dipanaskan selama 2 jam dalam tungku pembakar pada suhu 500 °C sehingga diharapkan ion-ion logam berubah menjadi oksida-oksida (La₂O₃ dan ZrO₂). Penyemprotan dan pemanasan ini diulang sebanyak 10 kali sehingga seluruh permukaan gafit tertutup rapat oleh campuran oksida logam tersebut dan dengan demikian dihasilkan DSA gafit/La₂O₃-ZrO₂.

Untuk mengetahui terjadinya penambahan massa, DSA-DSA tersebut ditimbang, selanjutnya disimpan dalam desikator. Untuk mengetahui pengaruh pH larutan terhadap komposisi oksida logam yang terbentuk, langkah-langkah a, b, c dan d tersebut dilakukan kembali, akan tetapi digunakan larutan pelapis dengan pH yang berbeda, yaitu masing-masing 2, 4 dan 6.

Pembuatan DSA gafit/RuO₂-TiO₂

Dilakukan langkah-langkah yang sama dengan langkah-langkah pada pembuatan DSA gafit/La₂O₃-ZrO₂, akan tetapi larutan La(III) dan Zr(IV) masing-masing diganti dengan Ru(III) dan Ti(IV).

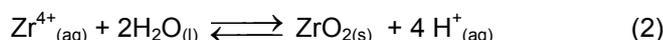
HASIL DAN PEMBAHASAN

Anoda Gafit/La₂O₃-ZrO₂

Hasil penelitian menunjukkan bahwa massa anoda setelah diberi perlakuan (penyemprotan dilanjutkan dengan pemanasan yang diulang hingga 10 kali) lebih besar dibanding sebelum diberi perlakuan. Hal ini berarti

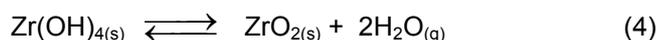
bahwa telah terjadi penambahan massa, yang berarti pula bahwa pelapisan anoda gafit telah terjadi. Penambahan massa tersebut tidak sama antara sampel yang satu dengan yang lain, melainkan bervariasi dipengaruhi oleh beberapa faktor di antaranya pH larutan pelapis yang digunakan. Secara umum penambahan massa semakin besar pada pH larutan pelapis yang lebih tinggi. Penambahan massa yang cukup signifikan terjadi pada pH 4 (rata-rata 0,0378 g per sampel) dan pada pH 6 (rata-rata 0,0428 g per sampel); sedang pada pH yang lebih rendah penambahan itu relatif kecil, yaitu rata-rata 0,0026 g per sampel untuk larutan pelapis dengan pH 1, dan 0,0055 g per sampel untuk larutan pelapis dengan pH 2.

Hal ini mungkin terkait dengan perbedaan mekanisme pembentukan oksida logam. Perlu dikemukakan di sini bahwa campuran La(III) dan Zr(IV) dalam larutan pelapis dengan pH 1 dan 2 teramati jernih. Hal ini menunjukkan bahwa logam-logam tersebut berada dalam bentuk kation terutama La³⁺ dan Zr⁴⁺ (tidak tertutup kemungkinan terdapatnya spesies-spesies kationik yang lain). Dengan demikian diperkirakan reaksi pembentukan kedua oksida logam yang terjadi pada suhu 500 °C tersebut berlangsung terutama melalui persamaan reaksi (1) dan (2):

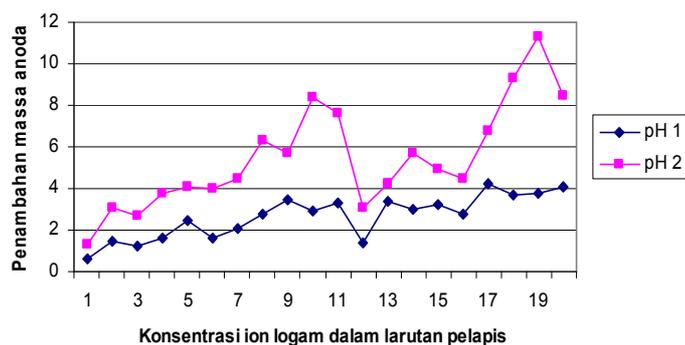


Kedua persamaan reaksi tersebut membebaskan ion H⁺, sehingga sesuai dengan azas Le Chatelier kesetimbangan akan bergeser ke kiri jika ditambahkan ion H⁺ ke dalam sistem; dengan demikian dapat dipahami mengapa pada pH yang lebih rendah lebih sedikit pula oksida logam yang terbentuk.

Campuran La(III) dan Zr(IV) dalam larutan pelapis dengan pH 4 dan 6 teramati berwarna putih keruh, hal ini menunjukkan bahwa spesies dalam bentuk hidroksidalah yang lebih dominan. Oleh karena itu pembentukan oksida logam diperkirakan berlangsung melalui persamaan reaksi (3) dan (4):



Besarnya penambahan massa juga dipengaruhi oleh konsentrasi ion logam dalam larutan pelapis. Secara umum penambahan massa semakin besar jika digunakan larutan dengan konsentrasi ion logam (dalam larutan pelapis) semakin besar, hal ini berlaku baik untuk konsentrasi La³⁺ bervariasi pada konsentrasi Zr⁴⁺ tetap maupun untuk konsentrasi Zr⁴⁺ bervariasi pada konsentrasi La³⁺ tetap. Pada Gambar 1 disajikan kurva penambahan massa anoda sebagai fungsi konsentrasi ion logam pada pH 1 dan pH 2.



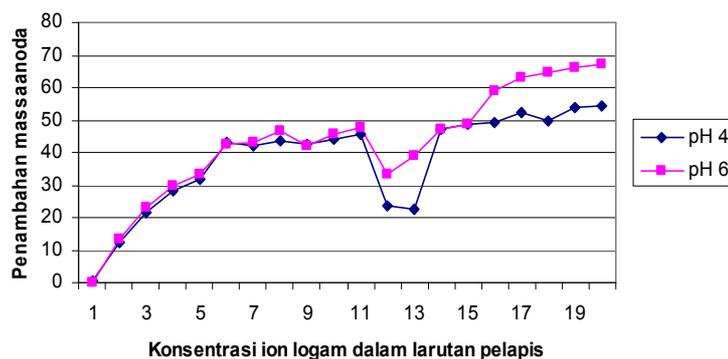
Gambar 1. Kurva penambahan massa anoda sebagai fungsi konsentrasi La^{3+} dan Zr^{4+} dalam larutan pelapis pada pH 1 dan pH 2

Kedua kurva tersebut masing-masing terdiri dari dua bagian. Bagian pertama adalah dari sampel ke-1 hingga sampel ke-11 yang ditandai dengan kecenderungan kurva yang naik secara berangsur. Kecenderungan kurva yang naik secara berangsur ini diakibatkan oleh kenaikan konsentrasi ion Zr^{4+} , karena pada periode ini konsentrasi La^{3+} dalam larutan pelapis dibuat konstan 0,01 M, sedang konsentrasi Zr^{3+} ditambah dari 0,00; 0,01; 0,02; dan seterusnya hingga 0,10 M. Bagian kedua adalah dari sampel ke-12 hingga sampel ke-20 yang juga ditandai oleh kecenderungan kurva yang naik secara berangsur. Kecenderungan kurva yang naik secara berangsur ini diakibatkan oleh kenaikan konsentrasi ion La^{3+} , karena pada periode ini konsentrasi Zr^{4+} dalam larutan pelapis dibuat konstan 0,01 M, sedang konsentrasi La^{3+} ditambah dari 0,00; 0,01; 0,02; dan seterusnya hingga 0,10 M.

Perlakuan pada pH 4 dan pH 6 menghasilkan kurva seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Kurva pada Gambar 2 ini memiliki pola yang mirip dengan kurva yang dihasilkan oleh perlakuan pada pH 1 dan pH 2 (Gambar 1), yaitu terdiri dari dua bagian. Kecenderungan kurva yang naik pada bagian pertama yaitu sampel ke-1 hingga sampel ke-11 terkait dengan kenaikan konsentrasi La^{3+} dalam larutan pelapis; sedang kecenderungan kurva yang naik pada bagian kedua yaitu sampel ke-12 hingga sampel ke-20 terkait dengan kenaikan konsentrasi Zr^{4+} dalam larutan pelapis.

Dalam penelitian ini pelapisan oksida logam dilakukan dengan menyemprotkan sejumlah volume tertentu (yaitu 10×1 mL) larutan pelapis yang mengandung campuran ion logam dengan konsentrasi yang tertentu pula. Oleh karena itu jika diasumsikan bahwa 100 % massa yang terlapis pada anoda merupakan campuran La_2O_3 dan ZrO_2 , maka dimungkinkan untuk menghitung efisiensi pelapisan, yaitu prosentase campuran ion logam yang berubah menjadi oksida logam yang terlapis pada anoda. Hal itu disajikan dalam tabel.

Dapat disimpulkan bahwa pH sangat berpengaruh terhadap efisiensi pelapisan oksida logam pada gafit.



Gambar 2. Kurva penambahan massa anoda sebagai fungsi konsentrasi La^{3+} dan Zr^{4+} dalam larutan pelapis dengan pH 4 dan 6

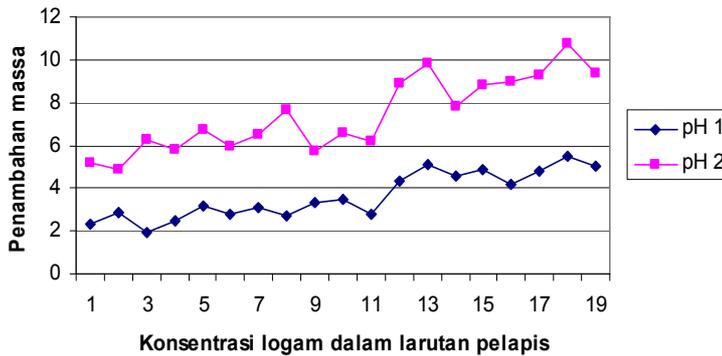
Efisiensi pelapisan rata-rata pada pH 1 dan 2 relatif kecil, yaitu masing-masing 3,09 dan 5,68 %; sedang pada pH 4 dan 6 cukup besar, yaitu masing-masing 43,12 dan 48,84 %.

Fraksi mol oksida logam yang terlapis pada gafit tersebut belum dapat diketahui secara pasti karena pada penelitian ini belum dilakukan karakterisasi. Walaupun demikian secara kasar dimungkinkan untuk memperkirakan hal tersebut, setidaknya untuk perlakuan pada pH 4 dan 6; yaitu dengan membandingkan sub rata-rata efisiensi pelapisan sampel ke-12 hingga ke-20 di satu pihak dengan sub rata-rata efisiensi pelapisan sampel ke-2 hingga ke-11 di pihak lain. Baik perlakuan pada pH 4 maupun perlakuan pada pH 6 sub rata-rata efisiensi pelapisan sampel ke-12 hingga ke-20 lebih besar dibanding sub rata-rata efisiensi pelapisan sampel ke-2 hingga ke-11, yaitu 41,68 : 39,6 (untuk perlakuan pada pH 4) dan 52,01 : 46,09 (untuk perlakuan pada pH 6). Oleh karena pada sampel ke-12 hingga ke-20 digunakan larutan pelapis dengan konsentrasi La(III) yang lebih besar dibanding Zr(IV) , maka dapat diperkirakan bahwa dalam oksida logam yang terlapis pada gafit tersebut kandungan La_2O_3 lebih dominan dibanding ZrO_2 .

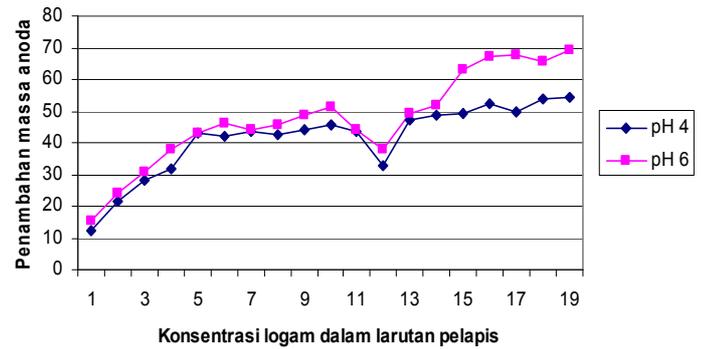
Prediksi serupa tidak dapat diaplikasikan untuk perlakuan pada pH 1 dan pH 2, karena tidak terdapat perbedaan yang cukup signifikan antara kedua parameter tersebut.

Anoda Gafit/ RuO_2 - TiO_2

Seperti halnya pada pembuatan anoda gafit/ La_2O_3 - ZrO_2 , hasil penelitian secara keseluruhan juga menunjukkan bahwa massa anoda setelah diberi perlakuan (penyemprotan dilanjutkan dengan pemanasan yang diulang hingga 10 kali) lebih besar dibanding sebelum diberi perlakuan. Hal ini berarti bahwa telah terjadi penambahan massa, yang berarti pula bahwa pelapisan anoda/gafit telah terjadi. Secara kuantitatif penambahan massa dalam hal ini juga tidak sama antara sampel yang satu dengan yang lain,



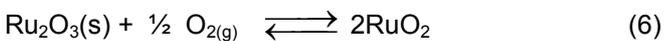
Gambar 3. Kurva penambahan massa anoda sebagai fungsi konsentrasi Ru³⁺ dan Ti⁴⁺ dalam larutan pelapis pada pH 1 dan pH 2



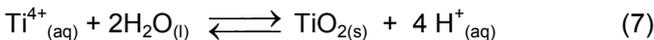
Gambar 4. Kurva penambahan massa anoda sebagai fungsi konsentrasi Ru³⁺ dan Ti⁴⁺ dalam larutan pelapis dengan pH 4 dan 6

melainkan bervariasi dipengaruhi oleh beberapa faktor di antaranya pH larutan pelapis yang digunakan. Secara umum penambahan massa semakin besar pada pH larutan pelapis yang lebih tinggi. Penambahan massa yang cukup signifikan terjadi pada pH 4 (rata-rata 0,0398 g per sampel) dan pada pH 6 (rata-rata 0,0483 g per sampel); sedang pada pH yang lebih rendah penambahan itu relatif kecil, yaitu rata-rata 0,0037 g per sampel untuk larutan pelapis dengan pH 1, dan 0,0076 g per sampel untuk larutan pelapis dengan pH 2.

Kemiripan lain yang juga terjadi adalah dalam hal kenampakan fisik campuran. Seperti halnya campuran La(III) dan Zr(IV) dalam larutan pelapis dengan pH 1 dan 2 yang teramat jernih, campuran Ru(III) dan Ti(IV) dalam larutan pelapis dengan pH 1 dan 2 juga jernih. Campuran La(III) dan Zr(IV) dalam larutan pelapis dengan pH 4 dan 6 teramat putih keruh. Campuran Ru(III) dan Ti(IV) pada pH 4 dan 6 juga keruh tetapi warnanya kehitaman. Dengan demikian perbedaan kuantitas massa yang terendap pada pH 1 dan 2 di satu pihak dengan pH 4 dan 6 di pihak lain kemungkinan juga terkait dengan perbedaan mekanisme pembentukan oksida logam. Reaksi pembentukan RuO₂ pada pH 1 dan 2 kemungkinan berlangsung melalui persamaan reaksi (5) dan (6):



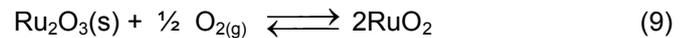
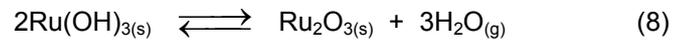
Pembentukan TiO₂ pada pH 1 dan 2 kemungkinan berlangsung melalui persamaan reaksi (7):



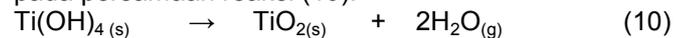
Persamaan reaksi (5) dan (7) tersebut membebaskan ion H⁺, sehingga sesuai dengan azas Le Chatelier kesetimbangan akan bergeser ke kiri jika ditambahkan ion H⁺ ke dalam sistem; dengan demikian dapat dipahami mengapa pada pH yang lebih rendah lebih sedikit pula oksida logam yang terbentuk.

Pembentukan RuO₂ dan TiO₂ diperkirakan berlangsung melalui dehidrasi hidroksidanya kemudian

dilanjutkan dengan oksidasi oleh oksigen seperti ditunjukkan pada persamaan reaksi (8) dan (9):



Pembentukan TiO₂ diperkirakan berlangsung melalui dehidrasi hidroksidanya seperti ditunjukkan pada persamaan reaksi (10):



Besarnya penambahan massa juga dipengaruhi oleh konsentrasi ion logam dalam larutan pelapis. Secara umum penambahan massa semakin besar jika digunakan larutan dengan konsentrasi ion logam (dalam larutan pelapis) semakin besar. Hal ini berlaku baik untuk konsentrasi Ru³⁺ bervariasi pada konsentrasi Ti⁴⁺ tetap maupun untuk konsentrasi Ru⁴⁺ bervariasi pada konsentrasi Ti³⁺ tetap. Pada Gambar 3 disajikan kurva penambahan massa anoda sebagai fungsi konsentrasi ion logam pada pH 1 dan pH 2.

Kedua kurva tersebut masing-masing terdiri dari dua bagian. Bagian pertama adalah dari sampel ke-1 hingga sampel ke-11 yang ditandai dengan kecenderungan kurva yang naik secara berangsur. Kecenderungan kurva yang naik secara berangsur ini diakibatkan oleh kenaikan konsentrasi ion Ti⁴⁺, karena pada periode ini konsentrasi Ru³⁺ dalam larutan pelapis dibuat konstan 0,01 M, sedang konsentrasi Ti⁴⁺ ditambah dari 0,00; 0,01; 0,02; dan seterusnya hingga 0,10 M.

Bagian kedua adalah dari sampel ke-12 hingga sampel ke-20 yang juga ditandai oleh kecenderungan kurva yang naik secara berangsur. Kecenderungan kurva yang naik secara berangsur ini diakibatkan oleh kenaikan konsentrasi ion Ru³⁺, karena pada periode ini konsentrasi Ti⁴⁺ dalam larutan pelapis dibuat konstan 0,01 M, sedang konsentrasi Ru³⁺ ditambah dari 0,00; 0,01; 0,02; dan seterusnya hingga 0,10 M.

Perlakuan pada pH 4 dan pH 6 menghasilkan kurva seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Kurva pada Gambar 4 ini memiliki pola yang mirip dengan kurva yang dihasilkan oleh perlakuan pada pH 1 dan pH 2

(Gambar 3), yaitu terdiri dari dua bagian. Kecenderungan kurva yang naik pada bagian pertama yaitu sampel ke-1 hingga sampel ke-11 terkait dengan kenaikan konsentrasi Ru^{3+} dalam larutan pelapis; sedang kecenderungan kurva yang naik pada bagian kedua yaitu sampel ke-12 hingga sampel ke-20 terkait dengan kenaikan konsentrasi Ti^{4+} dalam larutan pelapis.

Dalam penelitian ini pelapisan oksida logam dilakukan dengan menyemprotkan sejumlah volume tertentu (yaitu 10×1 mL) larutan pelapis yang mengandung campuran ion logam dengan konsentrasi yang tertentu pula. Oleh karena itu jika diasumsikan bahwa 100 % massa yang terlapis pada anoda merupakan campuran RuO_2 dan TiO_2 , maka dimungkinkan untuk menghitung efisiensi pelapisan, yaitu persentase campuran ion logam yang berubah menjadi oksida logam yang terlapis pada anoda.

Dapat disimpulkan bahwa pH sangat berpengaruh terhadap efisiensi pelapisan oksida logam pada gakit. Efisiensi pelapisan rata-rata pada pH 1 dan 2 relatif kecil, yaitu masing-masing 4,66 dan 9,98 % ; sedang pada pH 4 dan 6 cukup besar, yaitu masing-masing 46,62 dan 57,41 %. Fraksi mol oksida logam yang terlapis pada gakit tersebut belum dapat diketahui secara pasti, karena belum dilakukan karakterisasi. Walaupun demikian secara kasar dimungkinkan untuk memperkirakan hal tersebut, yaitu dengan membandingkan sub rata-rata efisiensi pelapisan sampel ke-12 hingga ke-20 di satu pihak dengan sub rata-rata efisiensi pelapisan sampel ke-2 hingga ke-11 di pihak lain untuk masing-masing perlakuan. Dalam hal ini sub rata-rata efisiensi pelapisan sampel ke-2 hingga ke-11 ternyata lebih besar dibanding sub rata-rata efisiensi pelapisan sampel ke-12 hingga ke-20. Perbandingan tersebut adalah 5,74 : 3,45 (untuk perlakuan pada pH 1), 12,63 : 7,05 (untuk perlakuan pada pH 2), 58,89 : 33,00 (untuk perlakuan pada pH 4) dan 71,69 : 41,54 (untuk perlakuan pada pH 6). Oleh karena pada sampel ke-2 hingga ke-11 digunakan larutan pelapis dengan konsentrasi Ti(IV) yang lebih besar dibanding Ru(III), maka dapat diperkirakan bahwa dalam oksida logam yang terlapis pada gakit tersebut kandungan TiO_2 lebih dominan dibanding RuO_2 .

KESIMPULAN

Jika digunakan sejumlah larutan pelapis dengan volume dan pH tertentu, maka massa senyawa yang terlapis pada anoda sebanding dengan konsentrasi ion

logam dalam larutan tersebut. Massa senyawa yang terlapis pada anoda dipengaruhi oleh pH larutan pelapis yang digunakan, perlakuan dengan menggunakan larutan pelapis ber-pH 4 dan 6 menghasilkan senyawa dengan massa yang lebih besar dibanding perlakuan dengan larutan pelapis ber-pH 1 dan 2.

Dalam pembuatan DSA gakit/ $\text{La}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$ yang menggunakan larutan pelapis ber-pH 4 dan 6, rata-rata efisiensi pelapisan yang menggunakan larutan dengan La dominan, lebih tinggi dibanding rata-rata efisiensi pelapisan yang menggunakan larutan dengan Zr dominan. Dalam pembuatan DSA gakit/ $\text{RuO}_2\text{-TiO}_2$ yang dihasilkan dalam penelitian ini (dengan larutan pelapis ber-pH 1, 2, 4 dan 6), rata-rata efisiensi pelapisan yang menggunakan larutan dengan Ti dominan, lebih tinggi dibanding rata-rata efisiensi pelapisan yang menggunakan larutan dengan Ru dominan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi Depdiknas RI yang telah memberikan dana penelitian melalui Program Penelitian Hibah Bersaing XIII tahun anggaran 2005-2007.

DAFTAR PUSTAKA

1. Cornellis, Ch. and Vercesi, G.P., 1991, *J. Appl. Electrochem.*, 21, 136-142.
2. Austin, G.T., 1984, *Sherve's Chemical Process Industries*, Fifth Edition, Mc. Gaw-Hill, Tokyo, 249-250.
3. Brady, J.E., 1990, *General Chemistry*, Fifth Edition, John Wiley & Sons, New York, 586-587
4. Evans, J.W., 1995, *Metallur. & Mater. Trans.*, 26B, 189-208.
5. Arumi, R., 1995, *Studi Awal Pemakaian Anoda Gakit/ $\text{La}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$ Untuk Elektroekstraksi Aluminium Dari AlCl_3 Dalam Leburan Garam NaCl/LiCl* , Skripsi FMIPA UGM, Yogyakarta.
6. Novak, D.M., Tilak B.V., and Conway, B.E., 1981, *Modern Aspects of Electrochemistry*, Plenum Press, New York.
7. Tilak, B.V., Sarangapani, S., and Weinberg, N.L., 1982 *Elektrode Materials in Technique of Electroorganic Synthesis* Eds Weinberg, N.L and Tilak, B.V., John Wiley & Sons, 212-217.