

ANALISIS KRONOPOTENSIOMETRI ARUS BALIK PADA INTERAKSI ELEKTROKIMIA PLATINA-XANTAT *)

Oleh : *Arief Sudarsono***

ABSTRACT

The electrochemical interaction of xanthate ions commonly used as a sulphide minerals flotation collector with platinum electrodes is analyzed by using chronopotentiometric methods. Currents were applied to a platinum electrode immersed in xanthate free and xanthate containing borate solutions. The formation of dixanthogen from xanthate ions oxidation was observed at the application of positive currents. Its reduction is observed at negative currents. The equilibrium of xanthate-dixanthogen couple is applied current dependent. At low applied currents, the time required to reach the equilibrium is longer than the one of high applied currents.

SARI

Interaksi elektrokimia antara xantat sebagai reagen flotasi dengan logam platina dipelajari dengan cara pemuatan berganti. Pemuatan dilakukan dengan memberikan arus pada elektroda platina yang tercelup dalam larutan xantat dengan berbagai konsentrasi. Oksidasi ion xantat menjadi dixantogen teramati beberapa saat setelah pemberian arus positif dan reduksi dixantogen terjadi beberapa saat setelah pemberian arus negatif. Tercapainya kesetimbangan antara ion xantat dengan dixantogen sangat bergantung pada kuat arus yang diberikan. Pada kuat arus yang rendah diperlukan waktu yang relatif lebih lama untuk mencapai kesetimbangan.

* Penelitian ini dilakukan selama penulis mendapat tugas belajar di Department of Metallurgy and Materials Engineering, K.U. Leuven, Belgia, 1984-1988.

** Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Mineral ITB

PENDAHULUAN

Proses kimia yang mendasari teknik flotasi adalah interaksi antara xantat sebagai kolektor dengan permukaan mineral sulfida, sehingga permukaan itu berubah sifatnya dari hidrofilik menjadi hidrofobik.

Teori-teori tentang presipitasi dan adsorpsi ion yang sederhana ternyata tidak cukup untuk menjelaskan terjadinya kehidrofoban mengingat diperlukannya oksigen dalam flotasi xantat mineral sulfida.

Luluhan flotasi merupakan kumpulan partikel mineral dalam larutan air yang bersifat elektrolit sehingga interaksi antara xantat dengan permukaan mineral sulfida dapat ditinjau secara elektrokimia. Mineral sulfida bersifat konduktor dan dapat memberi atau menerima elektron dari lingkungannya. Salamy dan Nixon (1953) nampaknya adalah peneliti pertama yang meninjau mekanisme flotasi xantat mineral sulfida sebagai proses elektrokimia. Inti penelitian itu adalah oksidasi ion-ion xantat berlangsung bersamaan dengan reduksi oksigen.

Penelitian interaksi elektrokimia berikutnya dilakukan oleh Woods (1971, 1972) dan oleh Gardner dan Woods (1973). Penelitian itu umumnya dilakukan dengan mempelajari voltamogram (kurva antara potensial dan arus) yang diperoleh dari teknik voltametri penyapuan potensial secara linier (*Linear Potential Sweep Voltammetry*).

Teori reaksi elektrokimia pada antarmuka logam dan larutan air berkembang pesat terutama dalam kaitannya dengan ilmu korosi. Meskipun logam mempunyai sifat yang sama dengan mineral sulfida terhadap xantat sebagai reagen flotasi, penelitian interaksi elektrokimia antara xantat dengan mineral sulfida belum sedemikian pesat seperti halnya dalam bidang korosi.

Data yang berhubungan dengan antarmuka elektroda – larutan air dapat diperoleh dengan beberapa cara, di antaranya kurva antara potensial dengan arus (*voltammograms*) dan kurva pemuatan berganti (*alternate charging curves*).

Dalam penelitian ini interaksi antara xantat dan logam platina dianalisis berdasarkan kurva pemuatan berganti. Kurva-kurva itu diperoleh dari logam platina yang tercelup dalam berbagai konsentrasi xantat dalam air.

Penggunaan logam platina dalam penelitian ini bertujuan untuk mendekati peristiwa elektrokimia yang terjadi dalam flotasi xantat dengan lebih rinci. Penggunaan logam tembaga untuk mempelajari interaksi elektrokimia antara mineral tembaga sulfida dengan xantat akan diberikan pada makalah yang akan datang, yang pada saat ini masih dipersiapkan.

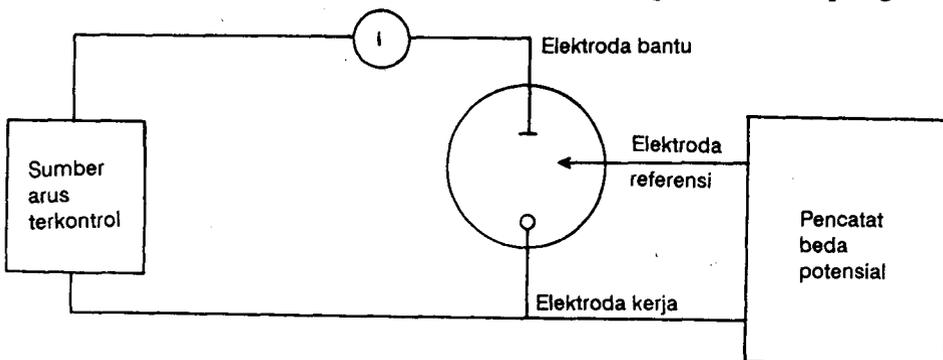
PERCOBAAN

Elektroda kerja yang dipakai berbentuk kawat platina dengan diameter 0,8 mm dan bagian yang tercelup dalam larutan dijaga konstan, yaitu 45 mm.

Larutan elektrolit dibuat dengan melarutkan 10 g/l $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ (Natrium Tetra Borat) dalam air distilasi. Larutan ini mempunyai pH 9,2. Kalium Etil Xantat (KEtX) dibuat dari etil alkohol, CS_2 , dan KOH (Vogel, A.J., 1974). Larutan xantat dipersiapkan beberapa saat sebelum percobaan, dengan tujuan mencegah terjadinya penguraian. Konsentrasi xantat yang dipelajari adalah antara 0 ppm sampai 200 ppm.

Pengukuran elektrokimia dilakukan dalam suatu sel elektrokimia dengan 3 elektroda yang terdiri dari elektroda kerja (kawat platina), elektroda ‘referensi’, yaitu elektroda ‘kalomel’, dan elektroda bantu, yaitu elektroda platina.

Pengontrolan, baik dalam hal potensial sel maupun arus yang diberikan, dilakukan dengan memakai *Princeton Applied Research Electrochemistry System* yang terdiri dari *Universal Programmer Model 175*, *Potentiostat/Galvanostat Model 173*, dan *Current Follower Model 176*. Kurva yang diperoleh digambarkan pada suatu *Recorder X-Y*. Gambar 1 memperlihatkan skema rangkaian alat-alat yang dipakai. Pada percobaan ini arus positif menunjukkan adanya oksidasi, arus negatif menunjukkan adanya reduksi. Pembalikan arus dilakukan setiap 40-60 detik pengamatan.



Gambar 1. Skema rangkaian alat pengukuran kronopotensiometri

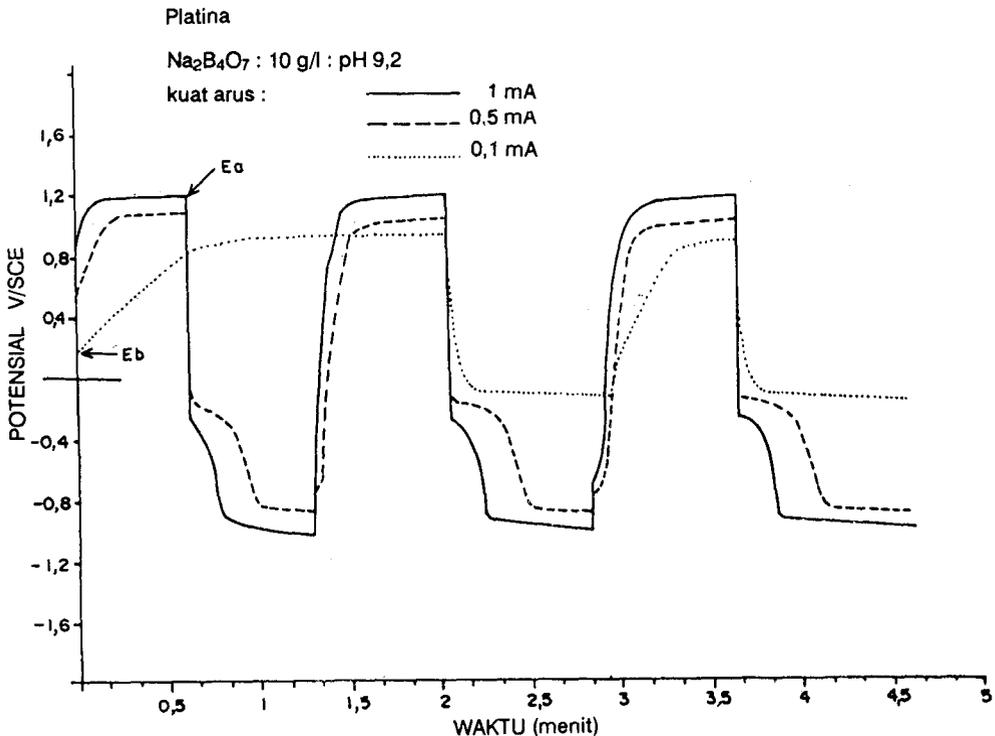


Potensial reduksi standar reaksi 1) adalah $E^0 = 0,159 \text{ V vs. SCE}$. Dengan memakai persamaan Nernst, maka potensial reversibel reaksi 1) pada $\text{pH} = 9,2$ adalah :

$$\begin{aligned} E &= 0,159 - 0,0591 \log [\text{OH}^-] \\ &= 0,159 + 0,0591 (14 - \text{pH}) \\ &= 0,443 \text{ V vs. SCE.} \end{aligned}$$

Potensial reversibel suatu reaksi adalah harga potensial ketika reaksi berada dalam kesetimbangan. Apabila potensial suatu elektroda lebih besar daripada potensial reversibelnya, maka pada elektroda tersebut akan terjadi reaksi oksidasi. Sebaliknya, bila potensial elektroda lebih kecil daripada potensial reversibelnya, akan terjadi reduksi.

Menunjuk kembali pada Gambar 2, dengan memberikan arus positif, potensial elektroda akan naik dengan cepat, yang digambarkan berupa



Gambar 2. Kronopotensiogram logam platina dalam larutan borat tanpa xantat

Teknik penelitian yang dipakai adalah Mikroelektroda arus terkontrol (*Controlled Current Microelectrode*). Percobaan dilakukan dengan memberikan arus antara elektroda kerja dan elektroda bantu. Arus yang diberikan berasal dari Galvanostat. Potensial yang diukur adalah potensial antara elektroda referensi dan elektroda kerja.

Semua harga potensial yang diberikan pada tulisan ini adalah relatif terhadap elektroda kalomel dimana 0 volt vs. kalomel (SCE) setara dengan 0,242 volt vs. Hidrogen (NHE).

Penelitian dengan cara ini sering disebut sebagai teknik kronopotensiometri karena potensial digambarkan sebagai fungsi waktu, dan kadang-kadang disebut juga sebagai teknik galvanostatik karena arus yang diberikan pada elektroda kerja cukup kecil. Teknik kronopotensiometri arus balik (*current reversal chronopotentiometry*) adalah pengamatan potensial antara elektroda kerja dan elektroda referensi yang ditimbulkan karena adanya pemberian arus secara berganti (arus positif atau negatif yang dibalik setiap waktu tertentu).

PEMBAHASAN

Elektroda platina dalam larutan borat tanpa xantat

Gambar 2 melukiskan kronopotensiogram logam platina yang tercelup dalam 10 g/l $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$. Kuat arus yang diberikan adalah 1 mA, 0,5 mA, dan 0,1 mA. Terlihat bahwa dengan memberikan arus positif, potensial elektroda akan naik dengan cepat, kemudian sedikit landai, dan akhirnya mencapai suatu harga yang relatif konstan dengan bertambahnya waktu pengamatan. Harga potensial yang relatif konstan ini untuk selanjutnya disebut potensial akhir ($= E_a$).

Pada Gambar 2 nampak jelas perbedaan antara kurva potensial yang diperoleh dari pemberian arus 1 mA dengan arus 0,1 mA. Dengan kuat arus 1 mA, waktu yang diperlukan untuk mencapai potensial akhir lebih singkat daripada kuat arus 0,1 mA, lagipula harga E_a untuk 1 mA ($E_a = 1,17 \text{ V}$) lebih besar daripada kuat arus 0,1 mA ($E_a = 0,9 \text{ V}$).

Pada sumbu potensial yang positif, yang ditimbulkan karena pemberian arus positif, akan terjadi reaksi oksidasi. Reaksi oksidasi pada elektroda platina yang mungkin terjadi adalah evolusi gas oksigen, sesuai dengan reaksi :

garis tegak lurus ke atas. Setelah itu membelok ke kanan. Titik belok (= Eb) yang teramati untuk kuat arus 0,1 mA, 0,5 mA, dan 1 mA masing-masing adalah pada 0,18 volt, 0,55 volt, dan pada 0,88 volt. Berdasarkan data ini, titik-titik belok tersebut kemungkinan dapat dikaitkan dengan titik awal terjadinya reaksi reduksi OH^- membentuk gas oksigen. Titik belok pada kuat arus 0,5 mA mempunyai harga (= 0,55 volt) yang mendekati harga potensial reversibel pembentukan oksigen ($E = 0,443$ volt).

Damjanovic (1969) menunjukkan bahwa reduksi oksigen pada elektroda platina dalam larutan basa dapat berlangsung dalam dua tahap. Pada tahap pertama oksigen tereduksi menjadi peroksida, sesuai dengan reaksi :



Peroksida yang terjadi umumnya dianggap sebagai senyawa antara yang kemudian tereduksi menjadi ion hidroksida :

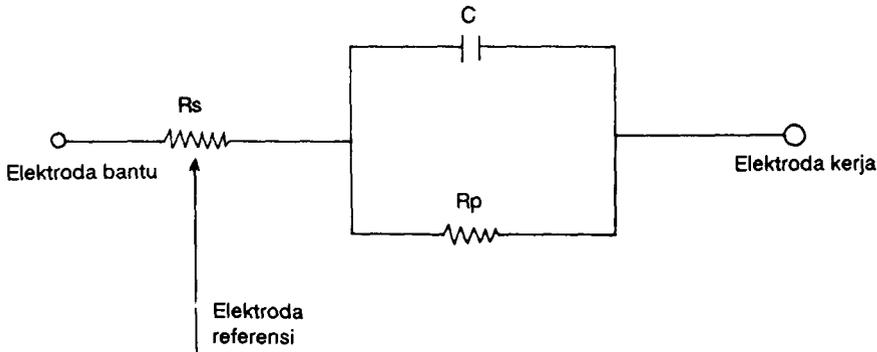


Berdasarkan pengamatan pada Gambar 2, waktu yang diperlukan dari saat terjadinya titik belok (= Eb) sampai terjadinya potensial akhir (= Ea) kemungkinan besar dapat dikaitkan dengan reaksi balik dari reaksi 3), yaitu oksidasi OH^- menjadi HO_2^- , sedang pada potensial akhir dapat terjadi evolusi gas oksigen sebagai hasil reaksi balik dari reaksi 2).

Salah satu kelemahan teknik arus terkontrol (*controlled current techniques*) adalah pengaruh pemuatan lapis ganda elektrik yang menurut A.J. Bard dan L.R. Faulkner (1980) sering kali terasa sangat besar dibandingkan dengan metoda potensial terkontrol (*controlled potential techniques*). Titik-titik belok pada Gambar 2 yang merupakan fungsi dari besarnya arus yang diberikan, nampaknya dapat dikaitkan dengan pemuatan lapis ganda elektrik tersebut.

Suatu antarmuka elektrokimia, seperti misalnya permukaan dari suatu elektroda kerja yang tercelup dalam larutan elektrolit, dapat dipandang sebagai suatu kombinasi elemen-elemen pasif sirkit elektrik, yaitu tahanan dan kapasitor. Dengan asumsi bahwa elemen-elemen ini dapat diterapkan untuk antarmuka elektroda – elektrolit, maka antarmuka tersebut dapat

diwakilkan dalam suatu sirkit elektrik seperti pada Gambar 3 dimana R_s = tahanan larutan, R_p = tahanan polarisasi, dan C = kapasitor dari lapis ganda elektrik.



Gambar 3. Sirkit elektrik pada antarmuka elektroda – larutan

Potensial lapis ganda elektrik atau potensial antara elektroda referensi dengan elektroda kerja yang terukur pada pemberian arus 1 mA ternyata lebih besar daripada yang terukur pada pemberian arus 0,5 ataupun 0,1 mA. Kenyataan ini ditunjang oleh Hukum Ohm ($V = I.R$) bahwa untuk suatu harga tahanan tertentu, arus listrik yang mengalir berbanding lurus dengan potensial. Titik-titik belok yang dapat dikaitkan dengan potensial lapis ganda elektrik akan sebanding dengan besarnya arus yang diberikan. Makin besar arus yang diberikan makin besar pula potensial titik belok (lihat Tabel I). Meskipun demikian perlu ditegaskan bahwa hubungan antara kuat arus dan potensial pada lapis ganda elektrik, terutama berdasarkan data pada Tabel I, bukanlah merupakan suatu hubungan linier yang sederhana.

Tabel I. Potensial titik belok dan potensial akhir pada elektroda platina yang tercelup dalam larutan borat tanpa xantat

Kuat arus (mA)	Potensial titik belok (mV vs. SCE)	Potensial akhir (mV vs. SCE)
0,1	180	900
0,5	550	1057
1,0	880	1170

Gambar 2 melukiskan pula bahwa waktu yang diperlukan untuk memuati kapasitor C dari lapis ganda elektrik akan semakin lama dengan mengecilnya pemberian arus. Pada pemberian arus 1 mA, potensial akhir dicapai dalam waktu 12 detik, sedang pada arus 0,1 mA waktu yang diperlukan adalah 65 detik. Pengamatan ini menunjukkan bahwa selama pemuatan kapasitor C, reaksi pada antarmuka berlangsung tidak pada kondisi optimumnya. Dengan perkataan lain, pada kondisi awal, arus yang diberikan cenderung untuk memuati kapasitor C hingga keadaan jenuhnya. Arus yang mengalir menuju kapasitor C akan lebih besar daripada yang mengalir menuju tahanan Rp karena adanya hambatan dari Rp itu sendiri. Apabila kapasitor C telah mencapai keadaan jenuhnya, arus pada tahanan Rp akan membesar. Pada kondisi inilah dicapai potensial akhir.

Dengan memberikan arus yang relatif besar, kapasitor C akan termuati dengan cepat. Sebaliknya, pada arus yang relatif kecil, diperlukan waktu yang lebih lama. Pada pemberian arus sebesar 0,1 mA potensial akhir yang dicapai adalah 0,9 volt meskipun waktu pengamatan telah diperpanjang menjadi 120 detik. Hal ini menunjukkan bahwa kapasitor C belum termuati sampai pada keadaan jenuhnya.

Pembahasan di atas memberikan suatu gambaran bahwa reaksi balik dari reaksi 3) adalah tahap penentu kecepatan reaksi. Reaksi ini berlangsung pada saat pemuatan kapasitor C dan reaksi balik dari 2) berlangsung apabila kapasitor C telah mencapai keadaan jenuhnya.

Pengamatan selanjutnya adalah mengikuti garis potensial terhadap waktu pada saat pembalikan arus menjadi negatif. Pada Gambar 2 terlukis penurunan potensial yang sangat cepat saat pembalikan arus pada detik ke 60. Pada sumbu potensial yang negatif terlukis 2 belokan. Belokan pertama terjadi antara 0 sampai - 0,4 volt dan belokan kedua terjadi antara - 0,8 volt dan - 1,0 volt.

Belokan pertama dapat dikaitkan dengan reduksi gas oksigen yang teradsorpsi pada permukaan platina sesuai dengan reaksi balik dari reaksi 1), sedang belokan kedua dikaitkan dengan evolusi gas hidrogen, sesuai dengan reaksi :



Pada pH = 9,2 potensial reversibel reaksi 4) adalah :

$$\begin{aligned}
 E &= -0,242 + 0,0591 \log [H^+] \\
 &= -0,242 - 0,0591 \text{ pH} \\
 &= -0,242 - 0,0591 (9,2) \\
 &= -0,786 \text{ volt vs. SCE.}
 \end{aligned}$$

Pengamatan pada Gambar 2 menunjukkan bahwa potensial akhir yang dicapai pada pemberian arus - 0,5 mA adalah - 0,86 volt yang cukup mendekati pada harga teoretisnya (= - 0.786 volt).

Elektroda platina dalam larutan borat-xantat

Pengamatan kronopotensiogram arus balik dari elektroda platina yang tercelup dalam larutan borat yang mengandung xantat dilukiskan pada Gambar 4, 5, dan 6, yaitu pada konsentrasi 50, 100, dan 200 ppm. Tujuan utama pengamatan ini adalah mempelajari sifat oksidasi ion-ion xantat pada elektroda platina.

Potensial oksidasi ion-ion xantat pada permukaan suatu elektroda platina ditentukan oleh besarnya perpindahan muatan antara elektroda dan larutan. Salamy dan Nixon pada tahun 1953 mengemukakan bahwa interaksi antara ion xantat dengan permukaan suatu mineral dapat berlangsung melalui oksidasi ion xantat menjadi $(EtX)_2$ yang disebut dixantogen :



disertai dengan reduksi katodik gas oksigen sesuai dengan reaksi balik dari reaksi 1). Potensial reduksi standar dixantogen hasil pengukuran Woods (1972, 1973) adalah - 0,305 volt vs. SCE. Potensial reversibel reduksi dixantogen tidak tergantung pada kebasaaan larutan melainkan hanya tergantung pada konsentrasi ion xantat :

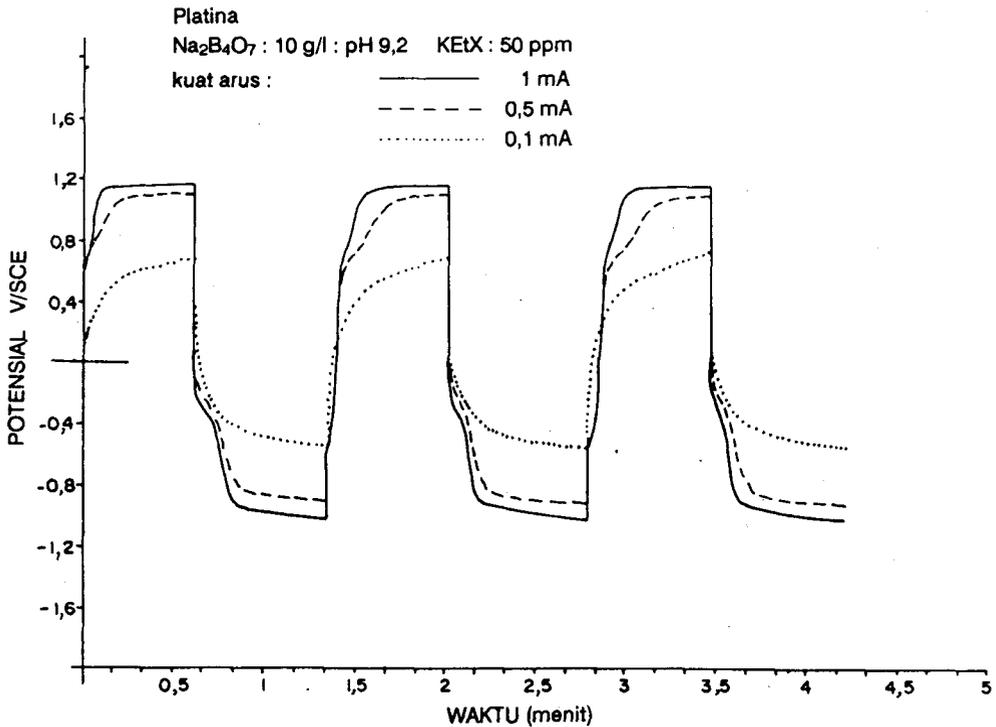
$$E = -0,305 - 0,0591 \log [EtX^-] \text{ V vs. SCE} \quad 6)$$

Berdasarkan persamaan 6); maka untuk konsentrasi yang dipakai pada penelitian ini dapat ditentukan potensial reversibel (Tabel II) reaksi 5).

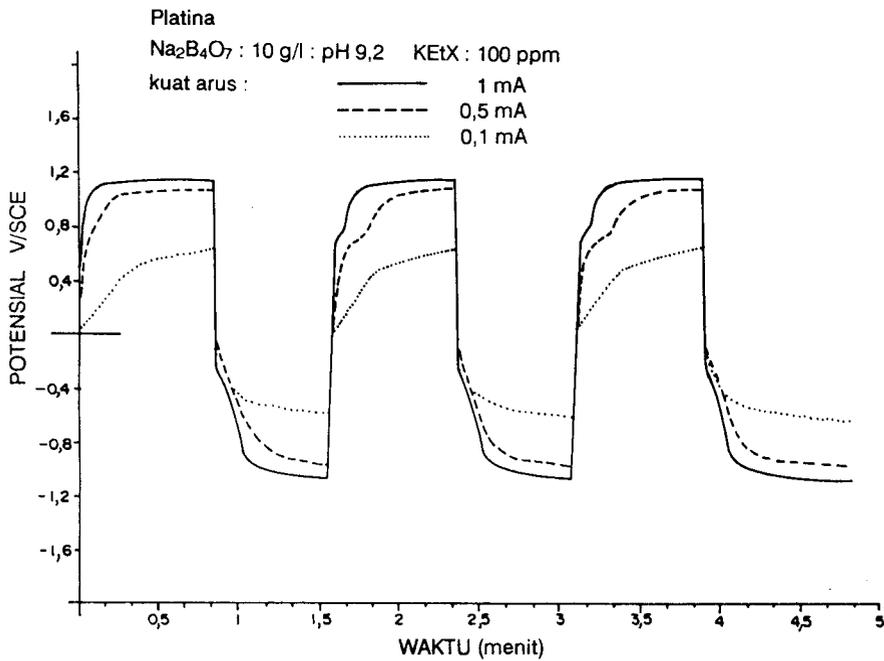
Tabel II. Potensial reversibel reduksi dixantogen

Konsentrasi		Potensial reversibel (mV vs. SCE)
ppm	mole/l	
50	$3,13 \times 10^{-4}$	-97,9
100	$6,25 \times 10^{-4}$	-115,6
200	$1,25 \times 10^{-3}$	-133,4

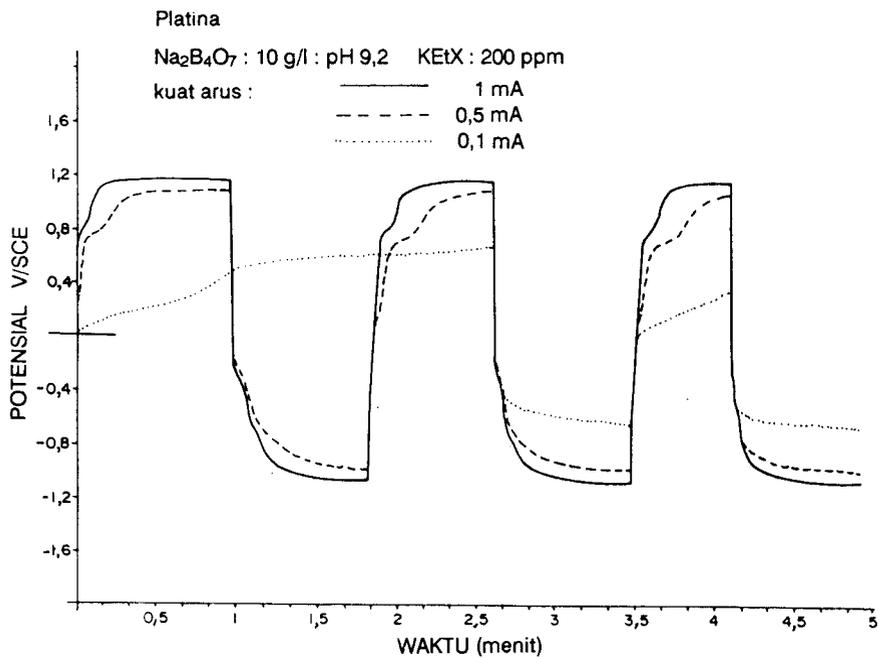
Dengan membandingkan kronopotensiogram yang dilukiskan pada Gambar 2 dengan yang dilukiskan pada Gambar 4, 5, dan 6 dapat dilihat bahwa titik-titik belok pada sumbu potensial yang positif mengecil dengan naiknya konsentrasi xantat dalam larutan. Titik-titik belok pada berbagai konsentrasi dan kuat arus yang diberikan disajikan pada Tabel III.



Gambar 4. Kronopotensiogram logam platina dalam larutan borat 50 ppm xantat



Gambar 5. Kronopotensiogram logam platina dalam larutan borat 100 ppm xantat



Gambar 6. Kronopotensiogram logam platina dalam larutan borat 200 ppm xantat

Tabel III. Potensial titik belok

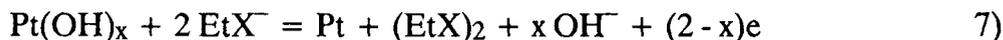
Kuat arus (mA)	Potensial titik belok (mV vs. SCE)			
	0 ppm	50 ppm	100 ppm	200 ppm
0,1	180	123	46	31
0,5	550	538	261	154
1,0	880	538	508	446

Telah dijelaskan bahwa potensial titik belok dapat dikaitkan dengan pemuatan kapasitor C dari lapis ganda elektrik. Menurunnya potensial titik belok dengan bertambahnya konsentrasi xantat dalam larutan memberikan gambaran bahwa keadaan jenuh kapasitor C tercapai pada potensial yang lebih rendah karena adanya adsorpsi ion xantat pada permukaan elektroda platina. Adanya ion xantat akan mempercepat pemuatan kapasitor C pada lapis ganda elektrik. Potensial titik belok yang lebih rendah menunjukkan pula adanya reaksi oksidasi tambahan selain reaksi pembentukan gas oksigen. Reaksi oksidasi tambahan tersebut adalah oksidasi ion xantat menjadi dixantogen, sesuai dengan reaksi 5).

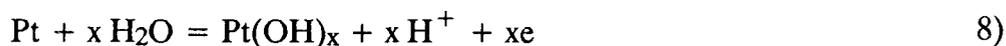
Pembahasan di atas ditunjang pula oleh harga potensial reversibel yang makin negatif dengan naiknya konsentrasi xantat dalam larutan (Tabel II). Kecenderungan ini selaras dengan potensial titik belok yang mengecil dengan naiknya konsentrasi xantat (Tabel III). Meskipun demikian, perlu ditekankan bahwa potensial titik belok berbeda cukup besar dengan potensial reversibel oksidasi ion xantat, yang berarti bahwa kuat arus yang dipakai pada penelitian ini sudah cukup besar untuk menggeser kesetimbangan reaksi oksidasi ion xantat ke arah pembentukan dixantogen.

Dengan mengikuti alur kronopotensiogram pada Gambar 4, 5, dan 6 terlihat suatu lengkung yang makin jelas dengan naiknya konsentrasi xantat dalam larutan. Pada pemberian arus sebesar 0,5 dan 1 mA lengkung tersebut teramati pada potensial $\pm 0,8$ volt vs. SCE, sedang pada pemberian arus sebesar 0,1 mA teramati pada potensial $\pm 0,3$ volt vs. SCE. Mengingat bahwa lengkung tersebut hanya teramati bila larutan mengandung ion

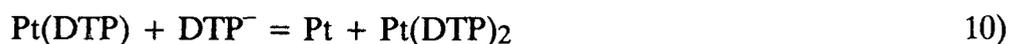
xantat, reaksi yang dapat dikaitkan pada lengkung tersebut adalah reaksi antara OH^- terkemisorpsi (*chemisorbed OH^-*) pada elektroda platina dengan ion xantat. sesuai dengan reaksi :



Menurut Damjanovic (1969) pembentukan $\text{Pt}(\text{OH})_x$ pada permukaan platina dapat terjadi pada potensial yang lebih besar dari - 100 mVvs. SCE. Harga subskrip x tidak harus bilangan integer. Pembentukan $\text{Pt}(\text{OH})_x$ terjadi menurut reaksi :



Pengusulan kemungkinan terjadinya reaksi 7) timbul karena adanya kemiripan dengan pengamatan yang dilakukan oleh Chander dan Fuerstenau pada tahun 1974, yang mempelajari pengaruh kolektor Kalium Dietilditiopospate (KDTP) pada sifat-sifat elektrokimia logam platina. Penelitian itu dilakukan dengan menganalisis voltamogram logam platina yang tercelup dalam larutan bufer asetat pada pH 5,6. Kesimpulan penelitian itu adalah berlangsungnya reaksi-reaksi :



sebagai reaksi oksidasi ion-ion DTP^- menjadi $(\text{DTP})_2$ pada potensial + 710 mV vs. SCE. Gabungan reaksi 9) dan 10) akan menjadi suatu reaksi yang mirip dengan reaksi 7). Kemiripan itu makin kuat dengan memperhatikan potensial terjadinya reaksi 9) dan 10), yaitu pada + 710 mV vs. SCE yang cukup dekat dengan pengamatan lengkung yang terjadi untuk kuat arus 0,5 mA dan 1 mA, yaitu pada + 800 mV vs. CSE.

Pada saat pembalikan arus, lengkung yang teramati pada potensial 0,4 volt vs. SCE (Gambar 2) menjadi kurang jelas meskipun tetap ada (Gambar 4, 5, dan 6). Pengamatan ini memberikan gambaran bahwa reduksi oksigen terhambat karena adanya dixantogen yang teradsorpsi pada permukaan elektroda platina. Kemungkinan lain adalah adanya kompetisi antara dixantogen dan oksigen untuk tereduksi pada permukaan elektroda. Lengkung yang terkait dengan reduksi oksigen makin menghilang dengan naiknya konsentrasi xantat dalam larutan.

KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan terdahulu dapat ditarik beberapa kesimpulan yang meliputi bahwa oksidasi ion xantat menjadi dixantogen pada elektroda platina dengan menggunakan metoda kronopotensiometri arus balik teramati pada potensial-potensial yang cukup jauh dari potensial reversibelnya. Pemberian kuat arus ternyata sangat menentukan sejauh mana kesetimbangan suatu reaksi dapat berlangsung. Makin besar pemberian kuat arus makin besar pula kemungkinan terjadinya pergeseran kesetimbangan reaksi pembentukan dixantogen.

Reaksi pembentukan dixantogen dapat pula terjadi karena adanya reaksi antara $Pt(OH)_x$ dengan ion EtX^- dan sangat dipengaruhi oleh pemuatan kapasitor lapis ganda elektrik yang terbentuk pada antarmuka elektroda dengan elektrolit.

Pembentukan dixantogen nampaknya berlangsung bersamaan dengan reduksi gas oksigen menjadi ion-ion hidroksida.

DAFTAR PUSTAKA

1. Chander, J.R. dan D.W. Fuerstenau, "The Effect of Potassium Diethyldithiophosphate on the Electrochemical Properties of Platinum, Copper and Copper Sulfide in Aqueous Solution", *Electroanal. Chem.*, 56, 1974, 217- 247.
2. Damjanovic, A. "Mechanistic Analysis of Oxygen Electrode Reactions" dalam buku *Modern Aspects of Electrochemistry*, oleh J.O'M. Bockris dan B.E. Conway, Vol. 5, 1969, 369-437.
3. Gardner, J.R. dan R. Woods, "The Use of Particulate Bed Electrode for the Electrochemical Investigation of Metal and Sulphide Flotation", *Aust. J. Chem.*, 26, 1973, 1635-1644.
4. Salamy, S.G. dan J.C. Nixon, "The Application of Electrochemical Methods to Flotation Research", *Recent Development in Min. Dressing*, London, IMM, 1953, 503-516.
5. Sudarsono, A.S., "Small Amplitude Cyclic Voltammetric Study of Xanthate Flotation of Copper-Sulphide Minerals", Thesis Doctoral, K.U. Leuven, Belgia, 1988.
6. Vogel, A.J., *A Textbook of Practical Organic Chemistry*, 3rd ed., Longman, London, 1974, 496-501.
7. Woods, R., "The Oxidation of Ethyl Xanthate on Platinum, Gold, Copper and Galena Electrodes. Relation to the Mechanism of Mineral Flotation", *The J. of Physical Chemistry*, Vol. 75, No. 3, 1971, 354-362.
8. "Electrochemistry of Sulphide Flotation", *Proc. Aust. Inst. Min. Met.* No. 241, March 1972, 53 - 61.
9. "The Anodic Oxidation of Ethyl Xanthate on Metal and Galena Electrodes", *Aust. J. Chem.*, 25, 1972, 2329-2335.