

---

# UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

First Semester Examination  
Academic Session 2008/2009

November 2008

**EBS 315/3 – Hydrometallurgy**  
**[Hidrometalurgi]**

Duration : 3 hours  
[Masa : 3 jam]

---

Please ensure that this examination paper contains SIXTEEN printed pages before you begin the examination.

*[Sila pastikan bahawa kertas peperiksaan ini mengandungi ENAMBELAS muka surat yang bercetak sebelum anda memulakan peperiksaan ini.]*

This paper contains SEVEN questions.

*[Kertas soalan ini mengandungi TUJUH soalan.]*

**Instruction:** Answer **FIVE** questions. If candidate answers more than five questions only the first five questions answered in the answer script would be examined.

**Arahan:** Jawab **LIMA** soalan. Jika calon menjawab lebih daripada lima soalan hanya lima soalan pertama mengikut susunan dalam skrip jawapan akan diberi markah.]

Answer to any question must start on a new page.

*[Mulakan jawapan anda untuk setiap soalan pada muka surat yang baru.]*

You may answer a question either in Bahasa Malaysia or in English.

*[Anda dibenarkan menjawab soalan sama ada dalam Bahasa Malaysia atau Bahasa Inggeris.]*

1. The following data was obtained for the equilibrium loading of copper (II) onto a cation-exchange resin in the acid form. The capacity of the resin was determined as 1.85 eq/lr. The loading experiments were conducted with 100ml of an aqueous solution containing 0.25 mol/l of nitric acid and various concentrations in solution. The concentrations refer to the initial and equilibrium concentrations in solution.

*Data berikut diperolehi dari muatan keseimbangan bagi kuprum (II) keatas resin penukar kation dalam bentuk asid. Kapasiti resin ditentukan sebagai 1.85 eq/lr. Eksperimen muatan dijalankan dengan larutan akuas 100 mL yang mengandungi 0.25 mol/l asid nitrik dan pelbagai kepekatan dalam larutan. Kepekatan ini merujuk kepada kepekatan awal dan kepekatan pada keseimbangan dalam larutan.*

**Table 1.1: Equilibrium loading of copper (II) onto a cation-exchange resin**

*Jadual 1.1: Muatan keseimbangan kuprum (II) ke atas resin penukar kation*

Vol resin / isipadu resin, ml	100	100	100	50	25	10
$[\text{Cu}^{2+}]_o$ , g/l	0.5	1.0	5.0	5.0	5.0	5.0
$[\text{Cu}^{2+}]_e$ , g/l	0.0062	0.014	0.165	0.36	0.83	2.15

- [a] Using this data, calculate the average selectivity coefficient for copper over the proton for this resin.

*Menggunakan data ini, kirakan pekali pemilih purata bagi kuprum terhadap proton bagi resin.*

(60 marks/markah)

- [b] Using this value, estimate the maximum loading of copper on the resin that could be achieved from a heap solution containing 0.5 g/l of copper at a pH of 1.

*Menggunakan nilai-nilai ini, anggarkan muatan maksimum yang boleh dicapai bagi kuprum ke atas resin dari satu larutan pelarutlesapan himpunan yang mengandungi 0.5 g/l kuprum pada pH 1.*

(40 marks/markah)

(N.B. : Each copper ion that loads will displace 2 protons into solution.)

(N.B.: Setiap muatan ion kuprum akan menyasarkan 2 proton ke dalam larutan)

2. Table 2.1 shows the steady state data obtained from an operating gold plant using the carbon-in-leach (CIL) process which consists of 11 mechanically agitated tanks of equal size (150 m<sup>3</sup> active volume) in series. The plant treats 1.0 million metric tonnes of ore with a head grade of 4.7g gold/ tonne ore in a pulp containing 40% solids by mass. The density of the pulp is 1.35t/m<sup>3</sup>.

*Jadual 2.1 menunjukkan data pada keadaan mantap yang telah diperolehi dari satu loji operasi yang menggunakan proses karbon-dalam-larutlesapan (CIL) di mana ia terdiri dari satu siri 11 tangki-tangki pengadukan mekanikal pada saiz yang sama (150 m<sup>3</sup> isipadu aktif). Loji ini merawat 1.0 juta tan metrik bijih dengan gred suapan 4.7g emas/ tan dalam satu pulpa yang mengandungi 40 % pepejal mengikut jisim. Ketumpatan pulpa adalah 1.35t/m<sup>3</sup>.*

**Table 2.1: Steady state data from an operating gold plant using the carbon-in-leach (CIL) process**

*Jadual 2.1: Data keadaan mantap bagi satu loji emas menggunakan proses karbon-dalam-larutlesapan (CIL)*

Tank / Tangki	Assay/ cerakin g/t			Carbon / karbon
	Solids / Pepejal	Solution / Larutan	Carbon / karbon	Conc, g/l
Feed/Suapan	4.7	0.05	-	-
1	1.48	2.18	-	-
2	1.35	2.17	-	-
3	0.99	3.19	-	-
4	0.88	3.46	-	-
5	0.84	2.23	6352	9.5
6	0.59	1.56	3132	4.8
7	0.58	0.91	1644	8.6
8	0.41	0.512	870	6.5
9	0.36	0.281	526	7.4
10	0.27	0.09	348	12.5
11	0.26	0.03	271	7.2
-	-	-	149	-

- [a] From an overall mass balance of gold, calculate the flow rate of the carbon in tones/day.

*Dariimbangan jisim keseluruhan bagi emas, kirakan kadar alir karbon dalam tan/sehari.*

(20 marks/markah)

- [b] Calculate the mean residence time of the pulp per stage.

*Kirakan masa residen purata bagi pulpa pada setiap peringkat.*

(20 marks/markah)

- [c] Calculate the mean residence time of the carbon in the adsorption section.

*Kirakan purata masa residen bagi karbon dalam bahagian penjerapan.*

(20 marks/markah)

- [d] Calculate the percentage extraction of gold in each of the adsorption stages and comment on their value in relation to the carbon concentrations.

*Kirakan peratus pengekstrakan emas dalam setiap peringkat penjerapan dan berikan komen anda akan nilai ini dalam hubungan kepada kepekatan karbon.*

(20 marks/markah)

- [e] How would you reduce the amount of gold locked up in the adsorption section and how would this effect the performance of the plant?

*Bagaimanakah anda menurunkan amaun emas yang terkunci dalam bahagian penjerapan dan bagaimanakah ini akan mempengaruhi prestasi loji?*

(10 marks/markah)

- [f] Suggest **two** process changes which would reduce amount of soluble gold lost from the plant.

*Cadangkan **dua** proses yang boleh menurunkan amaun emas terlarut yang hilang dari loji.*

(10 marks/markah)

3. Table 3.1 below shows a batch leaching test data of  $\text{Cu}_2\text{S}$  in ferric sulphate at  $90^\circ\text{C}$  at  $\text{Fe}^{2+}/\text{Cu} = 2$ :

*Jadual 3.1 berikut menunjukkan data satu ujian pelarutlesapan kelompok bagi  $\text{Cu}_2\text{S}$  dalam ferrik sulfat pada  $90^\circ\text{C}$  dengan  $\text{Fe}^{2+} / \text{Cu} = 2$ :*

Table 3.1: Batch leaching test data of  $\text{Cu}_2\text{S}$  in ferric sulphate

*Jadual 3.1: Data satu ujian pelarutlesapan kelompok bagi  $\text{Cu}_2\text{S}$*

<b>Fraction extracted/ Pecahan terekstrak [M]</b>	0	0.30	0.50	0.60	0.70	0.80	0.85
<b>Time/Masa [h]</b>	0	0.1	0.25	0.5	1.0	2.0	3.0

- [a] If leaching of the ore is carried out in a reactor system in series (co-current) with a retention time of 30 minutes in each reactor and the initial metal concentration in the licen solution (returned back from the recovery plant) is  $[M]_s = 0.1$ , what would be the metal concentration in solution that leaves the third reactor?

*Jika bijh dilarutlesapkan dalam satu sistem reaktor bersiri (arus selari) dengan masa retensi selama 30 minit dalam setiap reaktor dan kepekatan logam asal dalam larutan licen (yang kembali dari loji perolehan) adalah  $[M]_s = 0.1$ , apakah kepekatan logam dalam larutan yang keluar dari reaktor ketiga?*

*(30 marks/markah)*

- [b] What would be the number of stages required to achieve 80% metal extraction?

*Berapakah bilangan peringkat yang diperlukan untuk menghasilkan 80% pengekstrakan logam?*

*(30 marks/markah)*

- [c] With a residence time of 100 minute in each stage, how many stages are required to achieve 75% metal extracted in solution.

*Dengan masa residen 100 minit pada setiap peringkat, berapakah peringkat yang diperlukan untuk mencapai 75% logam terekstrak dalam larutan.*

*(40 marks/markah)*

4. [a] Briefly explain the difference between a chemically controlled reaction and a transport or diffusion controlled reaction.

*Terangkan secara ringkas perbezaan di antara tindak balas yang dikawal secara kimia atau yang dikawal secara resapan.*

(35 marks/markah)

- [b] What do you understand by the term topochemical leaching?  
With the aid of diagrams, explain briefly what is meant by diffusion through a product layer.

*Apakah yang anda faham akan pelarutlesapan topokimia?  
Dengan bantuan satu gambarajah, terangkan apakah yang dimaksudkan dengan resapan melalui lapisan produk.*

(35 marks/markah)

- [c] Briefly explain how two factors below will affect the rate controlling step in a leaching process:

- (i) Degree of agitation
- (ii) Activation energy

*Terangkan secara ringkas bagaimana dua faktor berikut boleh memberi kesan terhadap langkah kawalan kadar dalam satu proses pelarutlesapan:*

- (i) Darjah pengadukkan
- (ii) Tenaga pengaktifan

(30 marks/markah)



5. [a] The  $E_h$ -pH diagram for water can be deduced by considering the reactions for the decomposition of water by electrolysis. Write the oxidation and reduction equation for water. Sketch the Pourbaix diagram for water and briefly explain the three distinct zones.

*Gambarajah  $E_h$ -pH bagi air boleh diperolehi dengan mempertimbangkan tindakbalas penguraian bagi air secara elektrolisis. Tuliskan persamaan pengoksidaan dan penurunan bagi air. Lakarkan gambarajah Pourbaix bagi air dan terangkan secara ringkas tiga zon yang ketara.*

(25 marks/markah)

- [b] The thermodynamics of leaching reactions are best illustrated by the use of  $E_h$ -pH diagrams. Figure 5.1 (a) and (b) show the  $E_h$ -pH diagram for the zinc-water and copper-water systems respectively (for a metal ion activity of  $10^{-3}$  mol/kg) at  $25^\circ\text{C}$  with the domain of thermodynamic stability of water clearly defined.

*Termodinamik bagi tindakbalas pelarutlesapan paling baik digambarkan menggunakan gambarajah  $E_h$ -pH. Rajah 5.1 (a) dan (b) menunjukkan gambaran jelas gambarajah  $E_h$ -pH bagi sistem zink-air dan kuprum-air masing-masing (bagi aktiviti ion logam  $10^{-3}$  mol/kg) pada  $25^\circ\text{C}$  dengan domain kestabilan termodinamik bagi air.*

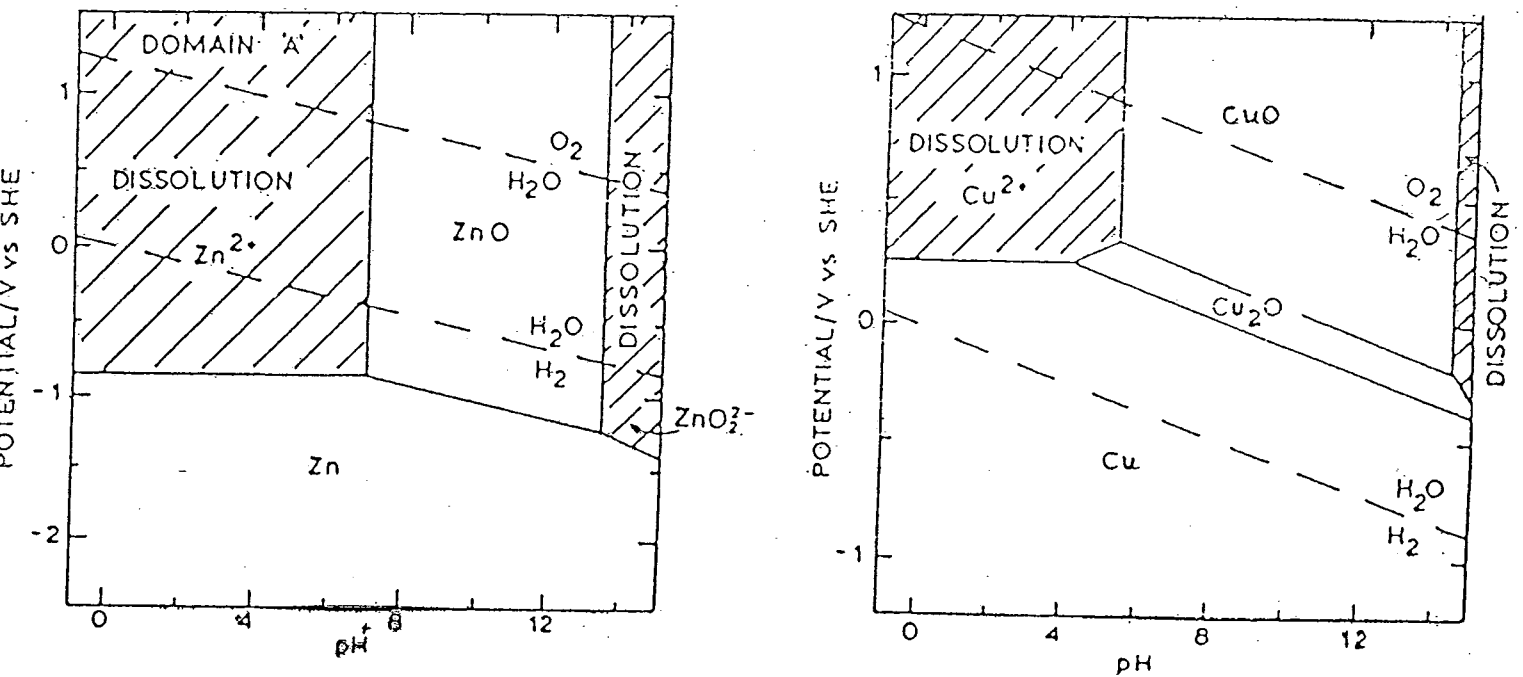


Figure 5.1:  $E_h$ -pH diagrams for (a) Zinc-water system (b) Copper-water system at 25°C

Rajah 5.1: Gambarajah  $E_h$ -pH bagi sistem (a) Zinc-air (b) Kuprum-air pada 25°C

- (i) From the reduction and oxidation potential of water, how do these factors support the dissolution of zinc and copper as shown in the  $E_h$ -pH diagrams.

*Dari keupayaan penurunan dan pengoksidaan bagi air, bagaimanakah faktor-faktor ini menyokong pelarutan zink dan kuprum seperti yang ditunjukkan dalam gambarajah  $E_h$ -pH.*

(25 marks/markah)

- (ii) Briefly explain the general conditions likely to be favourable to the dissolution of the mineral Zn and Cu.

*Terangkan dengan ringkas keadaan umum yang cenderung kepada pelarutan mineral Zn dan Cu.*

(25 marks/markah)

- (iii) As in the case of copper, how can the copper ion stable domains be extended to more negative potentials making the dissolution of copper much more favourable, particularly in alkaline conditions? Briefly explain your answer.

*Dalam kes kuprum, bagaimanakah domain kestabilan ion kuprum boleh dilebarkan ke keupayaan yang lebih negatif menjadikan pelarutan kuprum lebih dicenderung, terutama dalam keadaan alkali?*

*Terangkan secara ringkas jawapan anda.*

(25 marks/markah)

6. [a] Explain why Aluminum cannot be electrolytically refined using aqueous electrolyte. In industry, the production of aluminum is carried out using molten cryolite bath. Write the reactions that occur at the graphite anode and at the molten aluminum which acted as the cathode. Briefly explain why the process cannot achieved 100 % efficiency (in industry the efficiency differs from 88.0 - hampir 95%)

*Terangkan mengapa penulenan aluminum tidak boleh dilakukan secara elektrolitik menggunakan larutan elektrolit. Dalam industri, penghasilan aluminum dijalankan menggunakan leburan kriyolit (molten cryolite bath). Tuliskan tindakbalas kimia yang berlaku pada anod grafit dan pada leburan aluminum yang bertindak sebagai katod.*

*Terangkan secara ringkas mengapa kecekapan proses tidak boleh mencapai 100% (dalam industri kecekapan berbeza dari 88.0 - hampir 95%).*

(45 marks/markah)

- [b] In the electrowinning of Zn from zinc sulfate solution, the cell voltage, current density are 3.0 V, 0.05 A/cm<sup>2</sup> and 94% respectively. Calculate the electrical energy consumption in kWh/kg zinc and then determined the volume of hydrogen gas produced during the process at STP.

Given : 1 mol gas = 22.4 dm<sup>3</sup>

At wt. Zn : 65.4 g/mol, 1 F = 96500 C/mol

*Dalam elektrolehan Zn dari larutan zink sulfat, voltan sel, ketumpatan arus dan kecekapan arus adalah masing-masing 3.0 V, 0.05 A/cm<sup>2</sup> dan 94%.*

*Kirakan penggunaan tenaga elektrik dalam kWh/kg zink dan kemudian tentukan isipadu gas hidrogen yang terhasil semasa proses pada STP.*

*Diberikan: 1 mol gas = 22.4 dm<sup>3</sup>*

*JAR Zn : 65.4 g/mol, 1 F = 96500 C/mol*

(35 marks/markah)

...13/-

- [c] In a copper electrowinning plant, the leaching operations and leaching (in  $H_2SO_4$ ) plus solvent extraction operations produce solutions containing 30-60  $kg/m^3$  of dissolved copper. The copper in these solutions is recovered by the electrowinning process.

*Dalam loji elektrolehan kuprum, operasi pelarutlesapan dan pelarutlesapan (dalam  $H_2SO_4$ ) termasuk pengekstrakan pelarut menghasilkan larutan-larutan yang mengandungi 30-60  $kg/m^3$  kuprum terlarut. Kuprum dalam larutan ini diperolehi melalui proses elektrolehan.*

- (i) State the essential differences between an electrowinning and an electrorefining process for copper.

*Nyatakan perbezaan yang penting antara satu proses elektrolehan dan elektrotulenan bagi kuprum.*

(10 marks/markah)

- (ii) Write the electrowinning reactions for the copper and what are the products at the cathode and anode.

*Tuliskan tindakbalas elektrolehan bagi kuprum dan apakah hasil pada katod dan anod.*

(10 marks/markah)

7. Choose any **two** of the following:

*Pilih sebarang **dua** di antara berikut:*

[a] The choice of flow sheet for the recovery of gold from an ore depends largely on the mode of occurrence of gold in that ore. In the recovery of "fine" free gold, the ore has to be ground to a small particle size for the liberation of gold.

Discuss briefly with the aid of diagrams and circuit, the sequence of treatment starting from milling to:

- (i) Leaching of gold
- (ii) Separation of gold bearing solution from solids
- (iii) Precipitation of gold from solution

*Pemilihan carta alir bagi perolehan emas dari bijih sangat bergantung kepada mod kewujudan emas dalam bijih. Dalam perolehan emas "halus" yang terbebas, bijih mesti dikisarkan kepada saiz partikel yang lebih kecil untuk membebaskan emas.*

*Bincangkan secara ringkas dengan bantuan gambarajah dan carta alir, turutan perawatan bermula dari pengisaran kepada:*

- (i) *Pelarutlesapan emas*
- (ii) *Pemisahan larutan yang mengandungi emas dari pepejal*
- (iii) *Pemendakan emas dari larutan*

(50 marks/markah)

- [b] An oxide ore with a low gold content of 0.8 to 1.5 g Au/t cannot be treated by grinding, leaching and carbon-in-pulp as the operating and capital costs are too high. If the rock has a porous nature and can be leached at a coarse particle size, with the aid of diagrams showing the leaching circuits, briefly discuss the two methods that can be used to recover gold from these ores.

*Satu bijih oksida dengan kandungan emas 0.8 to 1.5 g Au/t tidak boleh dirawat dengan pengisaran, pelarutlesapan dan karbon-dalam-pulpa kerana kos operasi dan kapital adalah terlalu tinggi. Jika batuan ini bersifat porous dan boleh dilarutlesapkan pada saiz partikel yang kasar, dengan bantuan gambarajah tunjukkan carta alir pelarutlesapan, bincangkan secara ringkas dua kaedah yang boleh digunakan untuk perolehan emas dari bijih ini.*

(50 marks/markah)

- [c] The oxidative dissolution of sulfide minerals in copper waste dumps account for a large portion of copper recovered by hydrometallurgical techniques. Briefly describe the bacterial leaching process which plays an important role in the oxidative dissolution of the sulfide minerals.

*Pelarutan oksidatif mineral sulfida dalam timbunan sisa kuprum menyumbang kepada sebahagian besar perolehan kuprum dari teknik hidrometalurgi. Huraikan secara ringkas proses pelarutlesapan bakteria yang memainkan peranan yang penting dalam pelarutan oksidatif mineral sulfida.*

(50 marks/markah)

- [d] Describe briefly the methods to obtain the required equilibrium data to design a flow chart for a solvent extraction circuit and to sketch a McCabe-Thiele diagram. How do the varying acidity affect this diagram?

*Huraikan secara ringkas kaedah-kaedah untuk mendapatkan data keseimbangan yang diperlukan untuk merekabentuk satu carta alir bagi litar pengekstrakan pelarut dan lakarkan gambarajah McCabe-Thiele. Bagaimanakah keasidan yang pelbagai mempengaruhi gambarajah ini?*

(50 marks/markah)