
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

First Semester Examination
Academic Session 2009/2010

November 2009

EBS 315/3 – Hydrometallurgy
[Hidrometalurgi]

Duration : 3 hours
[Masa : 3 jam]

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

[Sila pastikan bahawa kertas peperiksaan ini mengandungi DUA PULUH SATU muka surat yang bercetak sebelum anda memulakan peperiksaan ini.]

This paper consists of 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.]

The answers to all questions must start on a new page.

[Mulakan jawapan anda untuk semua 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. Cobalt as Co^{2+} ion is extracted from sulfate pressure leach solutions by a phosphinic acid (RH) dissolves in kerosene through five stages of counter current mixer settler units.

Kobalt sebagai Co^{2+} ion diekstrakkan dari larutan sulfat dari pelarutlesapan tekanan oleh asid fosfonik yang larut dalam kerosin melalui lima peringkat pengekstrakan menggunakan unit-unit "mixer-settler" yang beroperasi secara berlawanan arus.

The units are running at the parameters below:

Unit-unit ini beroperasi dengan parameter-parameter berikut:

Raffinate = 2400 l/min at 0.5 g/l Co

Stripped Organic (Organic Feed) = 1600 l/min at 0.1 g/l Co

Rafinat = 2400 l/min pada 0.5 g/l Co

"Stripped Organic" (Suapan organik) = 1600 l/min pada 0.1 g/l Co

The equilibrium isotherm for the extraction is given below:
Jadual berikutnya menunjukkan data keseimbangan isoterma bagi pengekstrakan:

Aqueous concentration / <i>Kepekatan akuas</i> g/l Co	Organic concentration / <i>Kepekatan organik</i> g/l Co
0.25	0.25
0.50	0.85
0.65	1.27
0.87	2.00
1.10	2.55
1.30	3.00
1.75	3.90
2.25	7.83
2.50	5.22
3.00	5.90
3.50	6.45
4.10	6.95
5.00	7.50

Assume perfect mixing and phase separation in each of the five stages.

Andaikan, percampuran dan pemisahan fasa yang sempurna dalam setiap lima peringkat pengekstrakan.

- [a] Solve graphically for the concentration of Co in the leach liquor and loaded organic.

Dengan melakarkan satu graf, dapatkan kepekatan Co dalam larutan likor pelarutlesapan dan larutan organik selepas pengekstrakan.

(20 marks/markah)

- [b] What are the distribution coefficients for each of the five stages?

Apakah pekali taburan bagi setiap lima peringkat pengekstrakan?

(30 marks/markah)

- [c] What are the extraction efficiencies (stage efficiencies) of each of the five stages?

Apakah kecekapan pengekstrakan bagi setiap lima peringkat pengesktrakan?

(20 marks/markah)

- [d] What is the overall extraction efficiency of the circuit?

Apakah kecekapan keseluruhan bagi litar pengekstrakan?

(10 marks/markah)

- [e] If the flow rate of organic is increased to 2660 l/min, and the concentrations in the stripped organic and raffinate stay the same, will the number of stages required to achieve the same overall extraction increase or decrease? By how many stages?

Adakah bilangan peringkat untuk mencapai pengekstrakan keseluruhan akan bertambah atau berkurangan, jika kadar alir organik bertambah kepada 2660 l/min, dan kepekatan dalam larutan perlucutan dan rafinat adalah sama? Berapa bilangan peringkat?

(20 marks/markah)

2. The following steady-state data was obtained from an operating gold plant using the carbon-in-pulp (CIP) process which treats 1000 t/d of an ore with a head grade of 4.01 g/t as slurry containing 45% solids at a pulp density of 1.40 t/m³. All tanks are of the same nominal size.

Data keadaan mantap berikut diperolehi dari satu operasi loji emas menggunakan proses karbon-dalam-pulpa (CIP) yang merawat 1000 t/sehari suatu bijih, dengan gred 4.01 g/t sebagai 'slurry' mengandungi 45% pepejal pada ketumpatan pulpa 1.40 t/m³. Kesemua tangki adalah dalam saiz nominal yang sama.

Tank / Tangki	Solids / Pepejal	Assay, g/t Solution / Larutan	Carbon / Karbon	Carbon / Karbon Cons, g/l
Feed	4.01	0.05		
1	1.48	2.18		
2	1.15	2.67		
3	0.99	3.09		
4	0.88	3.25		
5	0.79	2.05	5352	9.5
6	0.69	1.56	3132	4.8
7	0.58	0.91	1644	8.6
8	0.45	0.51	870	6.5
9	0.36	0.28	526	7.4
10	0.27	0.09	348	12.5

The regenerated carbon contains 150 g/t of gold.

Karbon yang dikitar semula mengandungi 150 g/t emas.

- [a] Estimate the flow-rate of carbon that is consistent with the date.

Anggarkan kadar alir karbon adalah konsisten dengan masa.

(45 marks/markah)

- [b] Calculate the % of gold extracted by the carbon from the solution in each stage.

Kirakan peratus emas terekstrak oleh karbon dari larutan dalam setiap peringkat.

(30 marks/markah)

- [c] Give two possible reasons for the relatively high gold concentration in the solution tails and suggest how this problem could be solved.

Berikan dua sebab yang mungkin bagi kepekatan emas yang tinggi secara relatif dalam larutan sisa dan cadangkan bagaimana masalah ini boleh diatasi.

(15 marks/markah)

- [d] Outline some possible reasons for the relatively high gold content of the ore in the tailings and suggest methods for reducing the losses of gold in the solids.

Berikan alasan yang mungkin bagi kandungan emas yang relatifnya tinggi dalam hampas dan cadangkan kaedah bagi mengurangkan kehilangan emas dalam pepejal.

(10 marks/markah)

3. A nickel company is planning to purify their nickel leached solution which contains primary nickel of about 3 g/l of nickel. The analysis of the waste solution also showed present of copper at 0.5 g/l. The solution will be treated using a column technique with a resin bed volume (BV) of 50 l at a flow rate of 4 BV/hour. The resin to be used is a chelating resin type with the exchange capacity of 2.8 eq/l.

Satu syarikat nikel, bercadang untuk menulinkan satu larutan pelarutlesapan nikel yang mengandungi nikel primer sebanyak 3 g/l nikel. Analisis larutan sisa menunjukkan kehadiran Cu pada 0.5 g/l. Larutan ini akan dirawat menggunakan satu teknik kolum dengan "bed volume" (BV) resin 50 l pada kadar alir 4 BV/jam. Resin yang akan digunakan adalah resin jenis pengkelet dengan muatan penukaran sebanyak 2.8 eq/l.

(Given / Diberikan: At. wt: Ni = 58.7, Cu = 63.5 g/mol)

- [a] What are the maximum capacity of the resin in g/l and eq/l for:
- (i) Nickel
 - (ii) Copper

Apakah muatan maksimum resin dalam g/l dan eq/l bagi:

- (i) Nikel*
- (ii) Kuprum*

(10 marks/markah)

- [b] Calculate the volume of the nickel leached solution that can be treated before the resin must be changed. After how many hours of treatment the resin must be changed?

Kirakan isipadu larutan pelarutlesapan nikel yang boleh dirawat sebelum resin ditukarkan. Berapa lama masa yang diambil sebelum resin ditukarkan?

(40 marks/markah)

- [c] If the resin bed volume is increased to 100 L and the flow rate remained the same, what will be the new volume that can be treated and after how many hours of treatment before the resin must be changed?

Jika "bed volume" resin ditambahkan kepada 100 L dan kadar alir dikekalkan, apakah isipadu baru larutan sisa yang boleh dirawat dan berapa lama masa yang diambil sebelum resin ditukarkan.

(30 marks/markah)

- [d] What are the practical applications of adsorption and ion exchange? (Consider air pollution as well as water)?

Secara praktiknya, apakah aplikasi penjerapan dan penukaran ion? (Pertimbangkan pencemaran udara dan juga air)

(10 marks/markah)

- [e] Where do you find either process in the natural environment?

Dari manakah anda boleh menemui salah satu proses dalam persekitaran semula jadi?

(10 marks/markah)

4. [a] To optimize both the recovery of metals and the kinetics of dissolution of the minerals, it may be necessary to pre-treat the ore before leaching. State briefly the following pre-treatment processes:
- (i) Drying
 - (ii) Calcination
 - (iii) Roasting

Untuk mengoptimalkan perolehan logam dan kinetik pelarutan mineral, pra-rawatan bijih sebelum pelarutlesapan mungkin perlu dijalankan. Terangkan secara ringkas, proses pra-rawatan berikut:

- (i) *Pengeringan*
- (ii) *Pengkalsinan*
- (iii) *Pemanganan*

(30 marks/markah)

- [b] A batch leaching test of Cu_2S in ferric sulfate at 90°C at $\text{Fe}^{2+}/\text{Cu} = 2$, gave the following results:

Satu ujian kelompok untuk pelarutlesapan Cu_2S dalam ferik sulfat pada 90°C pada $\text{Fe}^{2+}/\text{Cu} = 2$, memberikan keputusan berikut:

Table 4.1 : Batch leaching test data of Cu_2S in ferric sulfate
Jadual 4.1: Data ujian pelarutlesapan kelompok bagi Cu_2S dalam Ferik sulfat

Fraction Extracted / Pecahan Terekstrak [M]	0	0.30	0.50	0.60	0.70	0.80	0.85
Time (hour) / Masa (jam)	0	0.1	0.25	0.5	1.0	2.0	3.0

- (i) 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 bijih dilarutlesap 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) mempunyai $[M]_s = 0.1$, apakah kepekatan logam dalam larutan yang keluar dari reaktor ketiga?

(40 marks/markah)

- (ii) What would be the values then if the retention time is 1 hour in each reactor?

Apakah pula nilai ini jika masa retensi adalah 1 jam dalam setiap reaktor?

(15 marks/markah)

- (iii) What would be the number of stages required to achieve 80% metal extraction using the two retention times?

Berapa bilangan peringkat yang diperlukan untuk menghasilkan 80% pengekstrakan logam menggunakan kedua-dua masa retensi?

(15 marks/markah)

5. [a] Solid-liquid separation has been the basis of hydrometallurgy. With the help of a typical circuit, explain briefly, the use of counter-current decantation and washing in the separation of residual gangue and leach solutions obtained in agitated leaching.

Pemisahan pepejal-cecair telah menjadi asas kepada proses hidrometallurgi. Dengan bantuan satu litar, terangkan dengan ringkas, kegunaan dekantasi berlawanan arus dan pencucian dalam pemisahan pepejal sisa dan larutan pelarutlesapan yang diperolehi dari pelarutlesapan pengadukan.

(30 marks/markah)

- [b] Given the following reaction equations:

Diberikan persamaan-persamaan tindakbalas berikut:

- (i) $\text{Cu}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O} = \text{HCuO}_2^- + 3\text{H}^+$
 (ii) $\text{Cu}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O} = \text{CuO}_2^{2-} + 4\text{H}^+$
 (iii) $\text{HCuO}_2^- = \text{CuO}_2^{2-} + \text{H}^+$
 (iv) $\text{Cu}^{2+} + \text{e}^- = \text{Cu}^+$
 (v) $\text{HCuO}_2^- + 3\text{H}^+ + \text{e}^- = \text{Cu}^+ + 2\text{H}_2\text{O}$
 (vi) $\text{CuO}_2^{2-} + 4\text{H}^+ + \text{e}^- = \text{Cu}^+ + 2\text{H}_2\text{O}$

Draw a Pourbaix diagram for the Cu-H₂O system using the standard chemical potential values for the species present as given in Table 5.1.

Di atas gambarajah Pourbaix yang sama dalam (a) dan menggunakan kesemua persamaan tindakbalas di atas, binakan satu gambarajah Pourbaix bagi sistem Cu-H₂O menggunakan nilai-nilai keupayaan kimia bagi spesi-spesi yang hadir seperti yang diberikan dalam Jadual 5.1.

Table 5.1: Standard chemical potential values of species present
 Jadual 5.1: Nilai –nilai keupayaan kimia piawai bagi spesi-spesi yang hadir

Solid / Pepejal	μ_o (kJ mol ⁻¹)	Solute / Zat Pelarut	μ_o (kJ mol ⁻¹)
Cu	0	Cu ⁺	50.2
Cu ₂ O	-146.2	Cu ²⁺ HCuO ₂ ⁻	64.9 -256.7
CuO	-127.1	CuO ₂ ²⁻ H ⁺	-181.8 0
Solvent / Pelarut H ₂ O	-237.0		

Assume the activities of the chemical species present in a single equation are the same.

Anggapkan keaktifan spesi–spesi kimia yang wujud dalam satu persamaan itu mempunyai keaktifan yang sama.

(50 marks/markah)

- [c] The thermodynamics of oxide leaching can be explained from the Pourbaix diagram. From the Pourbaix diagram constructed in (b) for Cu-H₂O system at 25°C and having the metal-water equilibria superimposed onto the E_h -pH for water, briefly discuss the thermodynamic stability of the species present in the system.

Termodinamik pelarutlesapan oksida boleh diterangkan dari gambarajah Pourbaix. Dari gambarajah Pourbaix yang anda binakan dalam (a) bagi sistem Cu-H₂O pada 25°C dan dengan salingtindihkan ekuilibria logam-air ke atas gambarajah E-pH bagi H₂O, perihalkan kestabilan termodinamik spesi-spesi yang wujud dalam sistem tersebut.

(20 marks/markah)

6. Choose any two of the following:

Pilih sebarang dua dari berikut:

- [a] Chalcopyrite is the most economically important sulfide mineral of copper. It is a refractory mineral as far as leaching with dilute acidic ferric sulfate solutions are concerned, but the action of bacteria is known to speed up the rate of leaching. Discuss briefly showing chemical equations, the bacterial activity as described by the direct and indirect leaching of metal sulfides and the role of bacteria in accelerating the galvanic mechanism in leaching.

Kalkopirit adalah mineral sulfida kuprum yang paling ekonomik. Ia adalah mineral refraktori, kerana tidak mudah dilarutlesapkan oleh larutan asid cair ferik sulfida tetapi tindakan bakteria telah membantu mempercepatkan kadar pelarutlesapan. Terangkan dengan ringkas, aktiviti bakteria merujuk kepada pelarutlesapan langsung dan tak-langsung logam sulfida dan peranan bakteria dalam mempercepatkan mekanisme galvanik dalam pelarutlesapan.

(50 marks/markah)

- [b] (i) Describe briefly, the differences between percolation and agitation leaching in the extraction of metals. With the aid of a schematic diagram, describe briefly the operation of four major types of reaction vessels used in agitation leaching.

Terangkan secara ringkas, perbezaan di antara pelarutlesapan penelusan dan pengadukan dalam pengekstrakan logam. Dengan bantuan satu gambarajah, terangkan dengan ringkas, operasi empat jenis tangki yang digunakan dalam pelarutlesapan pengadukan.

(15 marks/markah)

- (ii) With the aid of a process flow chart, explain the metal extraction processes involve in the hydrometallurgical production of Al_2O_3 (alumina) by the Bayer process.

Dengan bantuan satu carta alir proses, terangkan dengan ringkas proses hidrometalurgi pengekstrakan logam dalam penghasilan Al_2O_3 (alumina) oleh proses Bayer.

(35 marks/markah)

- [c] An agitation plant in Sabah leaches a feed consisting of 1250 metric tpd oxide flotation concentrates (24 % Cu), 100 metric tpd roaster calcines (48% Cu) and 130 metric tpd copper-cobalt ores (12 % Cu). The plant brings into solution 360 metric tonne Cu/day. The leachant is spent electrolyte carrying $62 \text{ kg/m}^3 \text{ H}_2\text{SO}_4$ and 30 kg/m^3 copper. The pregnant solution from leach carries $7 \text{ kg/m}^3 \text{ H}_2\text{SO}_4$ and 55 kg/m^3 copper. Find the efficiency of extraction, the volume of leach solution per day and pulp density in the reactors.

Satu loji pelarutlesapan pengadukan di Sabah, memproses suapan yang mengandungi 1250 metrik tan sehari konsentrat oksida pengapungan (24% Cu), 100 metrik tan sehari kalsin pemanggan (48% Cu) dan 130 metrik tan sehari bijih kuprum - kobalt (12% Cu). Loji ini melarutkan sebanyak 360 metrik tan kuprum sehari. Agen pelarutlesapan adalah elektrolit terpakai yang mengandungi $62 \text{ kg/m}^3 \text{ H}_2\text{SO}_4$ dan $30 \text{ kg/m}^3 \text{ Cu}$. Larutan pregnan dari pelarutlesapan mengandungi $7 \text{ kg/m}^3 \text{ H}_2\text{SO}_4$ dan $55 \text{ kg/m}^3 \text{ Cu}$. Dapatkan kecekapan pengekstrakan, isipadu larutan pelarutlesapan sehari dan ketumpatan pulpa dalam reaktor-reaktor.

(50 marks/markah)

- [d] Briefly discuss the various leaching techniques as practiced in the extraction of metals in relevance to the nature of the mineral deposits for the three different ore types: low grade ores, direct leaching ores and high grade ores.

Deposits amenable to in-situ leaching may be classified into three general types. With the aid of a schematic diagram, describe briefly the characteristics of this type of deposits or ore body applicable to solution mining.

Terangkan dengan ringkas, pelbagai teknik pelarutlesapan yang diamalkan dalam pengekstrakan logam merujuk kepada keadaan semulajadi endapan mineral bagi tiga jenis logam yang berbeza: bijih bergred rendah, bijih pelarutlesapan langsung dan bijih bergred tinggi.

Pelarutlesapan "in-situ" boleh dijalankan ke atas tiga jenis endapan. Dengan bantuan gambarajah skema, terangkan secara ringkas, ciri-ciri endapan atau jasad bijih di mana kaedah perlombongan ini boleh dijalankan.

(50 marks/markah)

7. [a] 100 metric tons of a copper concentrate averaging 21 percent are to be processed in 6 months (with 25 working days per month and 8 working hours per day). The concentrate is to be leached by sulfuric acid and then the solution electrolyzed. Estimate the minimum rating (voltage and current) of the power supply unit for 12 cells in series.

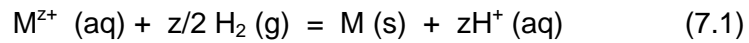
100 tan metrik konsentrat kuprum dengan kandungan purata 21 peratus kuprum akan diproseskan dalam masa 6 bulan (dalam 25 hari waktu bekerja setiap bulan dan 8 jam waktu bekerja sehari). Konsentrat akan dilarutlesapkan menggunakan asid sulfurik dan larutan dielektrolisiskan. Anggarkan kadar minima (voltan dan arus) unit bekalan tenaga bagi 12 sel yang disusun bersiri.

Given / Diberikan: E° (cathode/katod) = - 0.337V , E° (anode/anod) = 1.23V and/dan $F = 96,500$ C

(30 marks/markah)

[b] Gaseous reduction of metal:

Penurunan logam dengan gas diberikan:



- (i) At equilibrium, $E_{H_2} = E_M$. What is the requirement for the reaction equation in (7.1) to be thermodynamically feasible?

Pada keseimbangan, $E_{H_2} = E_M$. Apakah keperluan bagi persamaan tindakbalas dalam persamaan (7.1) untuk berlaku secara termodinamik?

(10 marks/markah)

- (ii) Write the simplified Nernst equation for these potentials at 25°C.

Tuliskan persamaan Nernst bagi keupayaan in pada 25°C.

(10 marks/markah)

- (iii) The following Figure 7.1 shows the plot of hydrogen and metals electrode potential at 25°C. Assuming the concentration of metal values, $C_{M^{z+}}$, is 10^{-2} molal, calculate the minimum pH required for the precipitation of Zn^{2+} , Cd^{2+} and Co^{2+} ions from aqueous solution at 25°C.

Note: Refer to Table 7.1 for values of standard electrode potentials.

Rajah 7.1 berikut menunjukkan keupayaan elektrod bagi hidrogen dan logam-logam pada 25°C. Dengan menanggapi nilai-nilai kepekatan logam, $C_{M^{z+}}$, adalah 10^{-2} molal, kirakan pH minima yang diperlukan bagi pemendakkan ion-ion Zn^{2+} , Cd^{2+} dan Co^{2+} dari larutan akueus pada 25°C.

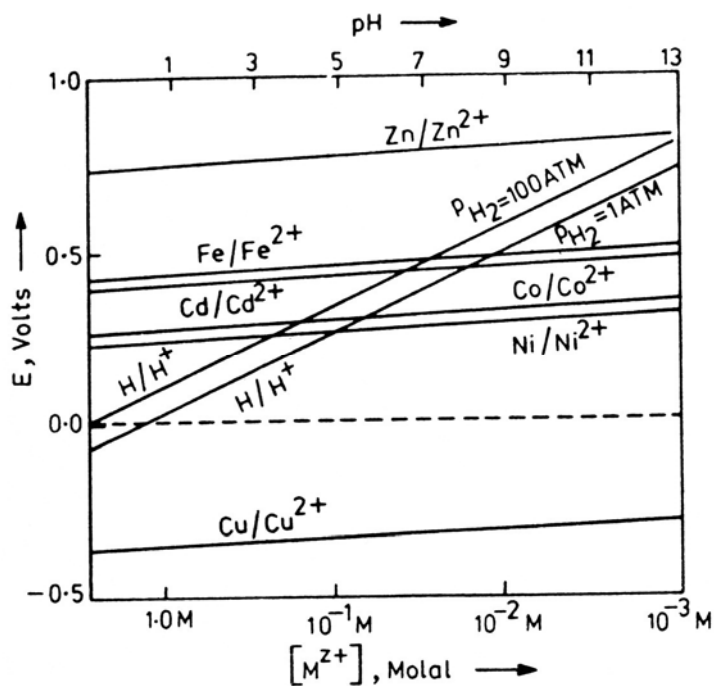
Nota: Rujuk Jadual 7.1 bagi nilai-nilai piawai keupayaan elektrod.

(50 marks/markah)

Table 7.1: Data of Standard Single Electrode Potentials (E°) at 25 °C
Jadual 7.1: Data Keupayaan Elektrod Piawai (E°) pada 25 °C

Element/ion	E° , V	Element/ion	E° , V
Li/Li ⁺	+3.045	Co/Co ²⁺	+0.30
K/K ⁺	+2.925	Ni/Ni ²⁺	+0.25
Cs/Cs ⁺	+2.923	Mo/Mo ³⁺	+0.20
Ca/Ca ²⁺	+2.87	Sn/Sn ²⁺	+0.14
Na/Na ⁺	+2.713	Pb/Pb ²⁺	+0.126
Mg/Mg ²⁺	+2.37	Fe/Fe ²⁺	+0.036
Th/Th ⁴⁺	+1.90	H ₂ /2H ⁺	0.000
Be/Be ²⁺	+1.85	Sb/Sb ⁺	-0.1
U/U ³⁺	+1.80	Bi/Bi ³⁺	-0.2
Al/Al ³⁺	+1.66	Cu/Cu ²⁺	-0.337
Zr/Zr ⁴⁺	+1.53	Co/Co ³⁺	-0.40
Mn/Mn ²⁺	+1.19	Cu/Cu ⁺	-0.52
Cr/Cr ²⁺	+0.86	Ag/Ag ⁺	-0.80
Zn/Zn ²⁺	+0.763	Hg/Hg ²⁺	-0.554
Cr/Cr ³⁺	+0.74	Pt/Pt ²⁺	-0.987
Fe/Fe ²⁺	+0.44	Au/Au ³⁺	-1.50
Cd/Cd ²⁺	+0.402	Au/Au ⁺	-1.68

Figure 7.1: Hydrogen and Metal Electrode Potentials at 25°C
Rajah 7.1: Keupayaan Elektrod bagi Hidrogen dan Logam pada 25°C



- oooOooo -