
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Peperiksaan Semester Kedua
Sidang Akademik 2006/2007

April 2007

EBB 316/3 – Kakisan & Degradasi *EBB 316/3 – Corrosions & Degradation*

Masa: 3 jam
Time: 3 hours

Sila pastikan bahawa kertas peperiksaan ini mengandungi LAPAN BELAS muka surat yang bercetak dan LIMA muka surat LAMPIRAN sebelum anda memulakan peperiksaan.

Please ensure that this paper consists of EIGHTEEN printed pages and FIVE pages APPENDIX before you proceed with the examination.

Kertas soalan ini mengandungi EMPAT soalan dari BAHAGIAN A dan EMPAT soalan dari BAHAGIAN B.

This paper contains FOUR questions from PART A and FOUR question from PART B.

Jawab LIMA soalan. Jawab DUA soalan dari BAHAGIAN A, DUA soalan dari BAHAGIAN B dan SATU soalan dari mana-mana bahagian. Jika calon menjawab lebih daripada lima soalan hanya lima soalan pertama mengikut susunan dalam skrip jawapan akan diberi markah.

Answer FIVE questions. Answer TWO questions from PART A, TWO question PART B and ONE questions from any part. If a candidate answers more than four questions only the first four questions answered in the answer script would be examined.

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

Answer to each and every question must start on a new page.

Jawab semua soalan dalam Bahasa Malaysia.

All questions must be answered in Bahasa Malaysia.

BAHAGIAN A:**PART A:**

1. [a] Terangkan mengapa siri EMF terhad penggunaannya dalam kajian kakisan. Bagaimana siri ini berbeza daripada siri galvani logam dalam air laut.

Explain why the emf series has limited application in corrosion studies. How is this series differ from the galvanic series of metals in sea water.

(20 markah)

- [b] Suatu sel galvani terdiri daripada elektrod besi di dalam larutan 0.02M FeSO₄ dan elektrod kuprum di dalam larutan 0.05 M CuSO₄ pada 25°C. Apakah daya elektromotif sel? (R = 8.314 J/deg.mol, F = 96,500 C/eq.)

A galvanic cell consists of an iron electrode in 0.02M FeSO₄ solution and a copper electrode in 0.05M CuSO₄ at 25°C. What is the emf of the cell? (R = 8.314 J/deg.mol, F = 96,500 C/eq.)

(40 markah)

- [c] Zink direndam di dalam larutan CuCl₂. Apakah tindakbalas yang mungkin berlaku dan pada nisbah [Zn²⁺] / [Cu²⁺] berapakah tindakbalas akan terhenti.

Zinc is immersed in a solution of CuCl₂. What is the possible reaction and at what [Zn²⁺] / [Cu²⁺] ratio will the reaction stop.

(40 markah)

2. Rujuk kepada gambarajah Pourbaix untuk besi pada Lampiran 1.
Refer to the Pourbaix diagram for iron in Appendix 1.
- (i) Labelkan pelbagai kawasan kakisan, kepasifan dan imuniti.
Label the various area of corrosion, passivation, immunity.
- (ii) Cadangkan bagaimana kemanglian besi dapat dicapai.
Suggest how the immunity of iron can be achieved.
- (iii) Tulis tindakbalas keseimbangan merujuk kepada garisan memisahkan Fe dan Fe_3O_4 dan hitung cerun dE/dpH garisan ini.
Write the equilibrium reaction corresponding to line separating Fe and Fe_3O_4 and calculate the slope dE/dpH .
- (iv) Apakah garisan (a)?
What is line (a)?

(100 markah)

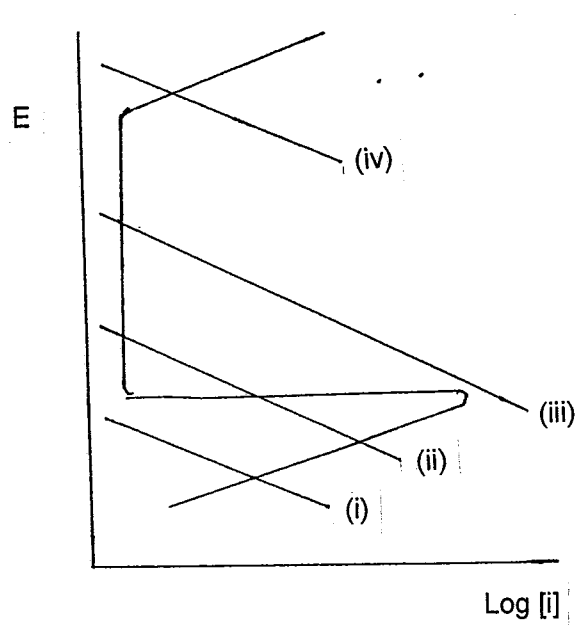
3. Suatu logam zink direndam di dalam 1M HCl. Andaikan bahawa keseluruhan permukaan zink bertindak sebagai katod dan kecerunan tafel adalah $+0.100V$, dan ketumpatan arus pertukaran untuk zink adalah 0.1 A m^{-2} manakala untuk hidrogen di atas zink adalah 10^{-4} A m^{-2} . Berat atom Zn adalah 65.38 g/mol .

A piece of zinc is immersed in 1M HCl solution. Assume that all the zinc surface acts as cathode, that tafel slopes are $+0.100V$, and that the exchange current densities for zinc and for hydrogen on zinc are 0.1 and 10^{-4} A m^{-2} , respectively. Given the atomic weight of Zn is 65.38 g/mol .

- (i) Hitung keupayaan kakisan untuk zink.
Calculate the corrosion potential of zinc.
(40 markah)
- (ii) Hitung amaun Zn yang terhakis dalam masa satu tahun.
Calculate the amount of Zn corroded in one year.
(40 markah)
- (iii) Apakah kesan pengadukan ke atas kadar kakisan zink. Jelaskan.
What will be the effect of agitation on the corrosion rate of zinc. Explain.
(20 markah)

4. Kesan pelbagai media pengoksidaan ke atas logam yang mempunyai sifat aktif-pasif ditunjukkan secara hipotetikal seperti di Rajah 1.

The effect of various oxidizing media on metal having an active-passive behaviour is hypothetically shown in Figure 1.



Rajah 1: Kakisan hipotetikal suatu logam aktif-pasif di dalam pelbagai persekitaran pengoksidaan

Figure 1: Hypothetical corrosion of an active-passive metal in various oxidizing environments

BAHAGIAN B:**PART B:**

5. Berdasarkan kaedah keupayaan pembauran, hubungan di antara ketumpatan arus kenaan (i_{app}) dan keupayaan pada sebarang keupayaan (\bar{E}) yang sedikit lebih tinggi atau lebih rendah daripada keupayaan kakisannya, E_{cor} , boleh ditunjukkan oleh:

According to mixed potential theory, the relationship between applied current density (i_{app}) and potential at any potential (\bar{E}) which is slightly higher or lower than its corrosion potential, E_{cor} be presented as:

$$i_{app} = i_{0,an} \cdot \exp\left(\frac{\bar{E} - E_{Fe^{2+}/Fe}}{b'_{an}}\right) - i_{0,cat} \cdot \exp\left(-\frac{\bar{E} - E_{2H^+/H_2}}{b'_{cat}}\right)$$

- [a] Anda dikehendaki menerbitkan persamaan asas rintangan pengutuban linear daripada persamaan di atas.

You are expected to derive basic linear polarization resistance equation from the equation above.

[b] Engell telah mencadangkan satu kaedah untuk menentukan ketumpatan arus kakisan, i_{cor} dan cerun Tafel anodik, b_{an} daripada pengukuran-pengukuran dalam persekitaran keupayaan kakisan untuk kakisan logam di bawah kawalan kadar perpindahan jisim oksigen terlarut menuju logam ($b_{cat} \rightarrow \infty$).

Terbitkan persamaan yang menunjukkan hubungan diantara ketumpatan arus kenaan (i_{app}) dengan ketumpatan arus kakisan (i_{cor}) pada sebarang keupayaan dalam persekitaran keupayaan kakisan (E_{cor}), dan tunjukkan bagaimana mengira i_{cor} dan b_{an} .

Engell has proposed a method to determine the corrosion current density, i_{cor} and the anodic Tafel slope, b_{an} from measurements in the vicinity of the corrosion potential for the metal corrosion which is controlled by the rate of mass transfer of dissolved oxygen toward the metal ($b_{cat} \rightarrow \infty$).

Derive the relationship between applied current density (i_{app}) and corrosion current density (i_{cor}) at any potential (\bar{E}) in the vicinity of the corrosion potential (E_{cor}), and then show how to determine i_{cor} and b_{an} .

(30 markah)

- [c] Kakisan suatu logam dikawal oleh kadar penyerapan oksigen terlarut menuju logam. Kadar kakisan logam adalah $0.1A/m^2$ dan pekali perpindahan cas proses anodik ($\tilde{\alpha}_{an}$) adalah sama dengan 0.5. Dengan mengandaikan tindakbalas-tindakbalas anodik dan katodik berlaku pada seluruh luas permukaan, kirakan rintangan pengutubannya.

Corrosion of a metal is controlled by the diffusion rate of dissolved oxygen toward the metal. The corrosion rate of the metal is $0.1A/m^2$ and the charge transfer coefficient of anodic process ($\tilde{\alpha}_{an}$) is equal to 0.5. By assuming the anodic and cathodic reactions occur on the entire surface area of the metal, determine its polarization resistance.

(20 markah)

6. Satu keping logam boleh terkakis secara aktif, menjadi pasif atau terkakis secara perlahan dalam suatu persekitaran akues. Spektrum impedan yang diperolehi daripada EIS (spektrokopi impedan elektrokimia) memberikan informasi sifat kakisan logam.

A piece of metal can actively corrode, be passive or slightly corrodes in an aqueous environment. The impedance spectra obtained from EIS (electrochemical impedance spectroscopy) provide information of the corrosion behavior of the metals.

- [a] Lakarkan dan berikan label lengkuk Nyquist dan litar elektrik setaranya untuk:

- (i) Kakisan logam yang dikawal oleh tindakbalas perpindahan cas.
- (ii) Logam pasif
- (iii) Logam yang diselaputi selaput pasif tak wajar

Kemudian terangkan secara ringkas kelebihan-kelebihan EIS.

Sketch and labeled the Nyquist curves and their equivalent electrical circuits for:

- (i) *Metal corrosion controlled by charge transfer reaction*
- (ii) *Passive metal*
- (iii) *Metal covered by improper passive film*

Then briefly explain the advantages of EIS for corrosion

(30 markah)

- [b] Rintangan pemindahan cas satu logam yang terkakis aktif dalam persekitaran aknes ditentukan dengan menggunakan prosedur pepadanan kurva. Keputusan ini menunjukkan bahawa $R_p = 50$ untuk kawasan yang terdedah seluas 4cm^2 . Kirakan kadar kakisan di dalam unit mm/tahun.

Data: Kecerunan Tafel daripada proses-proses anodik dan katodik masing-masing adalah 30 dan 100 mV/dekad.

Charge transfer resistance of a metal which corrodes actively in an aqueous environment is determined using curve fitting procedure. The resulted is $R_p = 50 \Omega$ for exposed area of 4cm^2 . Calculate the corrosion rate in mm/year.

Data: Tafel slopes of anodic and cathodic processes are 30 and 100mV/decade respectively.

(30 markah)

- [c] Rintangan pemindahan cas daripada satu logam meningkat hingga 1000 Ω untuk permukaan terdedah seluas 4 cm^2 selepas perencat ditambahkan ke dalam larutan. Kirakan kecekapan perencatannya dan kemudian lakarkan perubahan spektrum impedannya di dalam satu gambarajah Nyquist.

Charge transfer resistance of the metal increases to 1000 Ω for exposed area of 4 cm^2 after an inhibitor is added into the solution. Calculate the inhibition efficiency and then sketch the change of its impedance spectra in a Nyquist diagram.

(20 markah)

- [d] Jelaskan secara ringkas (dengan menggunakan gambarajah Evans) pengaruh perencat-perencat jenis anodik, katodik dan penyerapan ke atas keupayaan dan ketumpatan arus kakisan.

Briefly explain (using Evans diagrams) the influence of anodic, cathodic and adsorption type inhibitor on corrosion potential and corrosion current density.

(20 markah)

7. Permukaan luar talian paip yang tertanam dalam tanah akan dilindungi dengan ICCP (perlindungan katodik arus paksa). ICCP mesti direkabentuk untuk 20 tahun (jangka hayat perlindungan katodik). Elektrik hanya tersedia hingga 10 km dari masing-masing hujung talian paip. Anod-anod besi yang mengandungi silikon dengan kadar tinggi akan digunakan sebagai anod-anod ICCP.

The outside surface of underground steel pipeline will be protected using ICCP (impressed current cathodic protection). The ICCP has to be designed for 20 years (cathodic protection life time). The electricity is only available up to 10 km from each end of the pipeline. High silicon iron anodes will be utilized as the ICCP anodes.

- [a] Kirakan jumlah anod yang diperlukan dalam setiap ground-bed.

Calculate the number of anodes required in each ground-bed.

(60 markah)

- [b] Kirakan keluaran daripada penerus arus apabila hanya satu penerus arus akan dipasang untuk setiap *ground-bed*.

Calculate the output of rectifier if only one rectifier will be installed for each ground-bed.

(40 markah)

Data:

Dimensi paip :	- diameter:	711.2 mm (28 inches)
	- ketebalan:	15.9 mm (0.625 inches)
	- panjang talian paip :	50 km
	- ρ_{paip} :	0.2×10^{-6} ohm.m
	- ω :	2000 ohm.m ²
	- ρ_{tanah} :	30 ohm.m

Anode ICCP → Fe-Si (aloi besi yang mempunyai kadar silicon tinggi))

- berat daripada anod tunggal:	21 kg
- diameter anod :	2 inches
- panjang anod:	60 inches
- kadar penggunaan anod:	0.5 kg/A.tahun
- factor penggunaan anod:	0.6
- diameter kambus balik:	8 inches
- panjang kambus balik:	80 inches
- keberintangan kambus balik:	50 ohm.cm
- jarak antara dua anod yang dicadangkan:	10 m

Data:

Pipe dimension :	- diameter:	711.2 mm (28 inches)
	- thickness:	15.9 mm (0.625 inches)
	- length of pipeline :	50 km
	- ρ_{pipe} :	0.2×10^{-6} ohm.m
	- ω :	2000 ohm.m ²
	- ρ_{soil} :	30 ohm.m

ICCP anode → Fe-Si (high silicon iron alloy)

- weight of single anode : 21 kg
- diameter of anode : 2 inches
- length of anode : 60 inches
- consumption rate : 0.5 kg/A.year
- utilization factor : 0.6
- diameter of backfill : 8 inches
- length of of backfill : 80 inches
- resistivity of backfill: 50 ohm.cm
- recommended distance between two anodes : 10 m

8. Satu tangki silinder daripada keluli tahan karat 304 yang digunakan untuk menyimpan asid sulfat ($\text{pH}=0$) dinyah udara didapati terkakis dengan cepat. Untuk memberikan perlindungan anodik, satu katod galvanik platinum akan di pasang. Tangki mempunyai diameter adalah 2m dan kedalaman asid adalah 1.5m.

A cylindrical tank of 304 stainless steel for storing deaerated sulfuric acid ($\text{pH}=0$) is found to corrode rapidly. To provide anodic protection, a galvanic cathode of platinum will be installed. The tank has a diameter of 2 m and the depth of the acid is 1.5 m.

- [a] Lakarkan dan label gambarajah pengutuban untuk keluli tahan karat dan kemudian kirakan keupayaan pasif, volt vs. SHE.

Sketch and labeled polarization diagram for the stainless steel and then calculate the passivation potential, volt versus SHE (standard hydrogen electrode).

(20 markah)

- [b] Berapa luas permukaan platinum yang diperlukan agar kepasifan yang stabil diperoleh secara dipastikan?

What is the area of platinum required to ensure stable passivity?

(30 markah)

- [c] Berapakah keupayaan kakisan yang ditunjukkan apabila tangki mencapai keadaan pasif?

What will the corrosion potential be when the tank achieves passivity?

(30 markah)

- [d] Lakarkan sistem perlindungan anodik di atas.

Sketch the anodic protection system.

(10 markah)

- [e] Kebanyakan daripada perlindungan anodik digunakan dengan mengalirkan arus anodik ke dalam tangki keluli tahan karat dan ianya memerlukan satu katod dengan luas permukaan terbatas. Lakarkan cara pemasangan perlindungan anodik untuk sistem ini.

Most often the anodic protection is applied by flowing anodic current into the stainless steel tank and a cathode with a limited surface area is required. Sketch the anodic protection installation for this system.

(10 markah)

Data : **304 keluli tahan kakisan** **penurunan H⁺ pada platinum**
 $E_{cor} = -0.44 \text{ V vs. SCE}$ $i_0 = 10^{-3} \text{ A/cm}^2$
 $i_{cor} = 10^{-3} \text{ A/cm}^2$ Kecerunan Tafel = 0.03 V/ decade
Kecerunan Tafel = 0.07 V/decade
 $i_{crit} = 1.4 \times 10^{-2} \text{ A/cm}^2$
 $i_{pas} = 4 \times 10^{-7} \text{ A/cm}^2$ **SCE = + 0.2416 V vs. SHE**

Data : **304 stainless steel** **H⁺ reduction on platinum**
 $E_{cor} = -0.44 \text{ V vs. SCE}$ $i_0 = 10^{-3} \text{ A/cm}^2$
 $i_{cor} = 10^{-3} \text{ A/cm}^2$ Tafel slope = 0.03 V/ decade
Tafel slope = 0.07 V/decade
 $i_{crit} = 1.4 \times 10^{-2} \text{ A/cm}^2$
 $i_{pas} = 4 \times 10^{-7} \text{ A/cm}^2$ **SCE = + 0.2416 V vs. SHE**

LAMPIRAN (BAHAGIAN B)

Di bawah ini adalah senarai persamaan-persamaan yang dapat digunakan untuk menyelesaikan pertanyaan-pertanyaan peperiksaan Bahagian B.

Below is a list of formulas that can be utilized to solve exam questions in Part B.

$$r = \frac{P_r}{\pi \epsilon_1 (D - d)} \quad \text{ohm/m}$$

$$W_0 = \frac{I_p T_0 8760}{K_d U} \quad \text{kg}$$

$$S = \frac{\pi D}{d} \quad \text{S/m}$$

$$R_{\text{strand}} = \frac{R_{\text{total}}}{n} \quad \text{Ohm}$$

$$\alpha = \sqrt{k S} \quad \text{m}^{-1}$$

$$V = V_0 - I_0 R \left[\exp\left(\frac{\alpha L \sinh \alpha a}{R L}\right) - \exp\left(\frac{-\alpha L \sinh \alpha a}{R L}\right) \right]$$

$$\Delta E_0 = \Delta E_x \cosh(\alpha x) \quad \text{volt}$$

$$\frac{P}{R_d}$$

$$I_0 = \frac{b_1 - b_2}{2.303 b_m - (b_1 + b_2)}$$

$$I_f = \frac{\Delta E_0}{I_b} \tanh(\alpha x) \quad \text{A}$$

$$I_R = I_0 \cdot S f_1 \quad \text{A}$$

$$W_0 = \frac{WGT}{U} \quad \text{kg}$$

$$n = \frac{W_0}{w} \times S f_1 \quad \text{pieces}$$

$$R_{\text{anode to backfill}} = \frac{P_{\text{backfill}}}{I_{\text{anode}}} \ln \frac{A_{\text{anode}}}{A_{\text{eff anode}}} \quad \text{ohm}$$

$$R_{\text{backfill to soil}} = \frac{P_{\text{soil}}}{I_{\text{backfill}}} \ln \frac{A_{\text{backfill}}}{A_{\text{soil}}} \quad \text{ohm}$$

$$C_{\text{cr}} = \frac{U_{\text{critical cross section area}}}{\pi} \left(\frac{C_1}{C_2} \right)^{1/2} \left(\frac{U_{\text{cr}}}{U} \right)^{1/2} \quad \text{cm}$$

$$r = \frac{P_{\text{out}}}{\pi S_0 R_{\text{total}}} \ln(0.656 \alpha d)$$

LAMPIRAN (BAHAGIAN B)

Berat logam yang diendapkan (g) = $(1.t/96500).(JAR/n)$
Weight of metal deposited (g) = $(1.t/96500).(atomic\ weight/n)$

Kadar penipisan = berat logam yang diendapkan/ketumpatan, mm/tahun
Penetration rate = weight of metal deposited/density, mm/year

r = jejari paip (*pipe radius*)

D = diameter paip (*pipe diameter*)

t = tebal paip (*pipe thickness*)

r_{eff} = jejari berkesan dari pada anod (*effective radius of anode*)

R_v = rintangan anod vertical (*resistance of vertical anode*)

ρ_p = ketumpatan rintangan paip (*resistivity of pipe*)

ρ = ketumpatan rintangan tanah/kambus balik (*resistivity of soil/backfill*)

g = kekonduktifan salutan (*coating conductivity*)

α = pemalar pelemahan (*attenuation constant*)

ω = kerintangan spesifik salutan (*specific resistance of the coating*)

S_a = jarak antara dua anod (*distance between two anodes*)

i_T = ketumpatan arus total (*total current density*)

i_0 = ketumpatan arus pertukaran (*exchange current density*)

\bar{i} = ketumpatan arus daripada tindak balas pengoksidaan (*current density of oxidation reaction*)

\bar{i} = ketumpatan arus daripada tindak balas penurunan (*current density of reduction reaction*)

U = [keratan rentas semula+keratan rentas akhir]/2
 (*[initial cross section area + final cross section area]/2*)

U = faktor penggunaan (*utility factor*)

n = jumlah anod dalam satu *ground-bed* (*number of anodes in one ground bed*)

ΔE_0 = anjakan keupayaan pada titik pengeluaran (*potential shift at drainage point*)

ΔE_x = anjakan keupayaan pada titik x (*potential shift at x point*)

x = jarak dari pada titik pengeluaran (*distance from drainage point*)