

SULIT

UNIVERSITI MALAYSIA PERLIS

Peperiksaan Akhir Semester Pertama
Sidang Akademik 2025/2026

Januari – Februari 2026

AMJ40503 – Environmental Remediation
[Remediasi Sekitaran]

Masa : 3 jam

Please make sure that this question paper has **TWELVE (12)** printed pages including this front page before you start the examination.

*[Sila pastikan kertas soalan ini mengandungi **DUA BELAS (12)** muka surat yang bercetak termasuk muka hadapan sebelum anda memulakan peperiksaan ini.]*

This question paper has **TWO (2)** sections, **SECTION A** and **SECTION B**.

Answer **ALL** questions from **SECTION A** and any **ONE (1)** question from **SECTION B**.

*[Kertas soalan ini mengandungi **DUA (2)** bahagian, **BAHAGIAN A** dan **BAHAGIAN B**. Jawab **SEMUA** soalan daripada **BAHAGIAN A** dan mana-mana **SATU (1)** soalan dari **BAHAGIAN B**.]*

SECTION A: This section has **FOUR (4)** questions. Please answer **ALL** questions.
BAHAGIAN A: Bahagian ini mengandungi **EMPAT (4)** soalan. Sila jawab **SEMUA** soalan.

Question 1

[Soalan 1]

- (a) Toxic metals are common contaminants found in soil and waste leachate. Their distribution between the soil solution and solid phases is controlled by key geochemical processes. Briefly list and explain at least **FOUR (4)** geochemical processes controlling the distribution of metals in soil.

[Logam-logam toksik adalah bahan cemar biasa yang terdapat dalam tanah dan sisa larut lesap. Pengagihan mereka antara penyelesaian tanah dan fasa pepejal dikawal oleh proses geokimia utama. Senaraikan dan terangkan secara ringkas sekurang-kurangnya EMPAT (4) proses geokimia yang mengawal taburan logam dalam tanah.]

(8 Marks / Markah)

- (b) At an industrial plant, 30,000 gallons of Trichloroethylene (TCE) was spilled accidentally into the subsurface. The subsurface consists primarily of sandy oil. The sandy oil is fully saturated and has a porosity of 0.35. Site characterization revealed that a dissolved phase TCE plume approximately 100 ft long, 10 ft wide, and 3 ft deep exist with an average concentration of 1000 mg/L. Assume that adsorption and biodegradation process are negligible. Given that the density of TCE is 1.462 g/cm³.

[Di sebuah kilang, 30,000 galen Trichloroethylene (TCE) telah tertumpah dengan tidak sengaja ke lapisan bawah permukaan. Lapisan bawah permukaan mengandungi tumpahan minyak berpasir. Minyak berpasir tersebut adalah sangat pekat dan mempunyai keliangan sebanyak 0.35. Pencirian kawasan tersebut menunjukkan bahawa fasa keterlarutan TCE berada pada panjang 100 kaki, lebar 10 kaki dan kedalaman 3 kaki dengan purata kepekatan sebanyak 1000 mg/L. Anggapkan bahawa proses penyerapan dan biodegradasi boleh diabaikan. Diberi ketumpatan TCE adalah 1.462 g/cm³.]

- (i) Calculate the total mass of spilled TCE.

[Kirakan jumlah berat tumpahan TCE.]

(4 Marks / Markah)

- (ii) Calculate the amount of free phase non aqueous phase liquid (NAPL) present in the aquifer.

[Kirakan jumlah cecair tanpa fasa cecair tanpa air (NAPL) yang hadir dalam akuifer.]

(8 Marks / Markah)

....3/-

Question 2*[Soalan 2]*

- (a) By accident, 200-gallon methyl ethyl ketone was released into unsaturated subsurface. The contaminated zone is 100 ft long with 100 ft wide and 20 ft deep. The soil in the contaminated zone consists of silty sand with porosity 0.35 and degree saturation of 55%. Calculate the theoretical amount of methyl ethyl ketone that exists in the gaseous phase. Find out the value of physical properties of methyl ethyl ketone from the appendix given.

[Secara tidak sengaja, 200 gelen metil etil keton telah tertumpah ke dalam permukaan yang tidak tepu. Kawasan tercemar adalah 100 kaki panjang dengan 100 kaki lebar dan kedalaman 20 kaki. Tanah dalam kawasan tercemar mengandungi pasir berkelembak dengan keliatan 0.35 dan 55 % takat tepu. Kirakan nilai teori metil etil keton yang wujud dalam fasa gas. Dapatkan nilai ciri-ciri fizikal metil etil keton daripada lampiran yang diberi.]

(8 Marks / Markah)

- (b) An oil spill of a liquid petroleum hydrocarbon is released into the environment. The oil spill occurred over an area of 6 m x 6 m at certain oil refining factory. The liquid petroleum hydrocarbon at a concentration of 1500 mg/L leaked into the underlying homogeneous aquifer. Assume that $K = 6.35 \times 10^{-3}$ m/hr, $n = 0.2$, $i = 1.0$, $D_L = 0.097$ m²/hr and $D_T = 0.0233$ m²/day. Assume that advection and dispersion control the transport.

[Satu tumpahan hidrokarbon petroleum cecair telah dilepaskan ke alam sekitar. Tumpahan minyak tersebut telah berlaku pada kawasan 6 m x 6 m di kilang penapisan minyak. Minyak hidrokarbon petroleum cecair pada kepekatan 1500 mg/L telah bocor ke dalam lapisan homogen akuifer. Anggarkan bahawa $K = 6.35 \times 10^{-3}$ m/jam, $n = 0.2$, $i = 1.0$, $D_L = 0.097$ m²/jam dan $D_T = 0.0233$ m²/hari. Anggarkan bahawa proses alir lintang dan penyebaran mengawal pengangkutan.]

- (i) Calculate the seepage velocity (m/day) and time (day) required for liquid petroleum hydrocarbon to reach 60 m.

[Kirakan halaju penyusupan (m/hari) dan masa (hari) yang diperlukan oleh minyak hidrokarbon petroleum cecair untuk capai 60 m.]

(5 Marks / Markah)

- (ii) Calculate the peak liquid petroleum hydrocarbon concentration (mg/L) that would occur at a drinking well located at $x = 60$ m and $y = 0$ m from the spill location.

[Kirakan kepekatan puncak hidrokarbon petroleum cecair (mg/L) yang mungkin terhasil pada perigi air minum yang terletak pada $x = 60$ m dan $y = 0$ m dari kawasan tumpahan.]

(7 Marks / Markah)

....4/-

Question 3
[Soalan 3]

A subsurface contains 5,000 mg/kg of gasoline (C_7H_{16}) due to leakage of underground storage tank. Bioremediation is suggested to remove the contaminants. The air in the subsurface is relatively stagnant. The total bulk density of the soil is 1.8 g/cm^3 ; the degree of water saturation in the soil is 30%; and the porosity is 40%. Assume that the moisture is saturated with oxygen and the saturated dissolved oxygen concentration in water at 20°C is approximately 9 mg/L. The oxygen concentration in the pore void is the same as that in the ambient air, 21% by volume.

[Di bawah permukaan mengandungi 5,000 mg/kg petrol (C_7H_{16}) akibat kebocoran tangki simpanan bawah tanah. Bioremediasi dicadangkan untuk menyingkirkan bahan cemar. Udara di bawah permukaan agak pegun. Jumlah ketumpatan pukal tanah ialah 1.8 g/cm^3 ; tahap ketepuan air di dalam tanah ialah 30%; dan keliangan ialah 40%. Andaikan bahawa kelembapan tepu dengan oksigen dan kepekatan oksigen terlarut tepu dalam air pada 20°C adalah lebih kurang 9 mg/L. Kepekatan oksigen dalam lompong liang adalah sama seperti dalam udara ambien, 21% mengikut isipadu.]

- (a) Discuss the bioremediation process for removing organic pollutants in both the saturated and unsaturated zones, including the roles of aerobic, anaerobic, and cometabolic processes.

[Bincangkan proses bioremediasi untuk menyingkirkan pencemar organik dalam zon tepu dan zon tak tepu, termasuk peranan proses aerobik, anaerobik dan kometabolik.]

(5 Marks/ Markah)

- (b) Calculate the mass of the gasoline present in the subsurface by using 1 m^3 of soil as basis calculation and the amount of oxygen required to biodegrade the gasoline completely.

[Kirakan jisim petrol yang terdapat di bawah permukaan dengan menggunakan 1 m^3 tanah sebagai perkiraan asas dan jumlah oksigen yang diperlukan untuk biodegradasi petrol sepenuhnya.]

(6 Marks/ Markah)

- (c) Calculate the amount of oxygen in pore void and soil moisture.

[Kirakan jumlah oksigen dalam lompong liang dan kelembapan tanah.]

(6 Marks/ Markah)

- (d) Based on the amount of oxygen in microbial consumption and availability in the subsurface, justify the effectiveness bioremediation at the contaminated site.

[Berdasarkan jumlah oksigen dalam penggunaan mikrob dan ketersediaan di bawah permukaan, justifikasikan keberkesanan bioremediasi di tapak tercemar tersebut.]

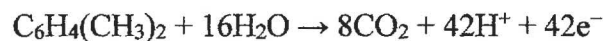
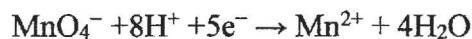
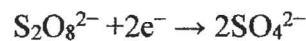
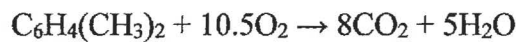
(3 Marks/ Markah)

....5/-

Question 4*[Soalan 4]*

The soil at a site is impacted by xylene. The soil on top of the capillary fringe contains 5,000 mg/kg of xylenes. In situ chemical oxidation is considered as one of the remedial alternatives. **Table Q4** shows the molecular weight and electron can be accepted for O₂ and Na₂S₂O₈. The oxidation of xylene by oxygen and the half-equations involved are shown below.

[Tanah di suatu tapak telah terkena impak oleh xilena. Tanah di atas pinggir kapilari mengandungi 5,000 mg/kg xilena. Pengoksidaan kimia in situ dianggap sebagai salah satu alternatif pemulihan. Jadual S4 menunjukkan berat molekul dan elektron boleh diterima oleh O₂ dan Na₂S₂O₈. Pengoksidaan xilena oleh oksigen dan persamaan separuh yang terlibat adalah ditunjukkan dibawah.]

**Table Q4:***[Jadual S4]*

Oxidizing agent <i>[Agen pengoksidaan]</i>	Electron accepted <i>[Penerima elektron]</i>	Molecular weight <i>[Berat molekul]</i>
Oxygen (O ₂) <i>[Oksigen (O₂)]</i>	4	32 g/mol
Sodium persulfate (Na ₂ S ₂ O ₈) <i>[Natrium persulfate (Na₂S₂O₈)]</i>	2	238 g/mol
Potassium Permanganate (KMnO ₄) <i>[Kalium Permanganat (KMnO₄)]</i>	5	158 g/mol

- (a) Discuss the fundamental process in soil flushing and types of flushing solvents.
Bincangkan proses asas dalam pembilasan tanah dan jenis pelarut pembilasan.]

(7 Marks/ Markah)

- (b) Calculate the amount of O₂ in gram per kilogram of soil that needs to oxidize xylenes in the impacted zone.

[Kirakan jumlah O₂ dalam gram per kilogram tanah yang perlu untuk mengoksidakan xilena dalam zon terjejas.]

(4 Marks/ Markah)

....6/-

- (c) Calculate the amount of $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$ and KMnO_4 needed to replace the O_2 .
[Kirakan jumlah $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$ dan KMnO_4 yang diperlukan untuk menggantikan O_2 .]

(6 Marks/ Markah)

- (d) Compare the effectiveness of the oxidizing agents used for the treatment.
[Bandingkan keberkesanan agen pengoksidaan yang digunakan untuk rawatan.]

(3 Marks/ Markah)

....7/-

SECTION B: This section has **TWO (2)** questions. Please answer any **ONE (1)** of the questions.
BAHAGIAN B: Bahagian ini mengandungi **DUA (2)** soalan. Sila jawab mana – mana **SATU (1)** soalan.

Question 5

[Soalan 5]

- (a) Accidental spillage or improper disposal of products such as gasoline, diesel fuel, fuel oil, jet fuels, coal tars, waste oil, and chlorinated solvents has caused a variety of organic chemicals to enter into the subsurface. These organic chemicals are classified as hydrocarbons that often known as non-aqueous phase liquids (NAPL) have been encountered at numerous contaminated sites. Briefly discuss the distribution of NAPL in the soils.

[Tumpahan dengan tidak sengaja atau pelupusan tidak terancang ke atas produk seperti petrol, bahan bakar diesel, minyak bahan bakar, bahan bakar pesawat, tar arang batu, sisa minyak dan pelarut berklorin menyebabkan pelbagai bahan kimia organik masuk ke dalam lapisan bawah permukaan. Bahan kimia organik tersebut diklasifikasikan sebagai hidrokarbon sebatian yang biasanya dikenali sebagai cecair tanpa fasa air (NAPL) yang sering dijumpai di pelbagai tapak pencemaran Bincangkan secara ringkas bagaimana NAPL diedarkan ke dalam tanah.]

(8 Marks / Markah)

- (b) A 3 ft thick cutoff wall is used to contain groundwater contaminated with benzene at a concentration of 1750 mg/l. Assume that $K = 1 \times 10^{-7}$ cm/s $n_e = 0.5$ and $D^* = 1 \times 10^{-5}$ cm²/s. The groundwater surface elevations inside and outside the wall are 500 ft and 501 ft, respectively as shown as **Figure Q5** below.

[Satu potongan dinding bertebalan 3 kaki dinding telah digunakan untuk menampung air bawah tanah yang tercemar dengan benzena pada kepekatan 1750 mg/l. Anggap bahawa $K = 1 \times 10^{-7}$ cm/s $n_e = 0.5$ dan $D^* = 1 \times 10^{-5}$ cm²/s. Ketinggian permukaan air bawah tanah sebelah dari dalam dan luar dinding masing-masing adalah 500 kaki dan 501 kaki seperti ditunjukkan dalam **Rajah S5 (b).**]

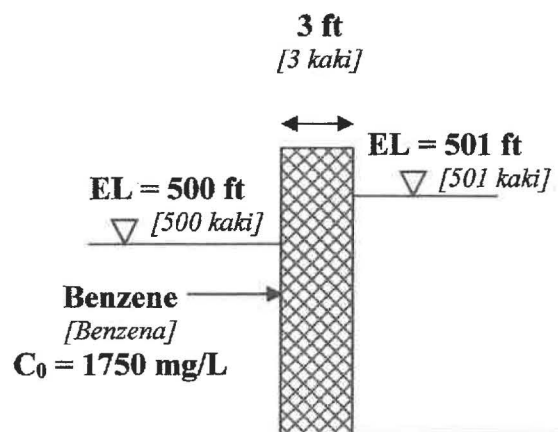


Figure Q5 (b)
[Rajah S5 (b)]

....8/-

- (i) Calculate the seepage velocity for the contaminant.
[Kirakan halaju penyusupan untuk bahan pencemar tersebut.]

(4 Marks / Markah)

- (ii) Calculate the breakthrough contaminant concentration for a period of six years for advective-diffusion transport (approximate method) and diffusion transport only for without sorption effect.
[Kirakan kepekatan keterlarutesapan bahan pencemar untuk jangka masa selama enam tahun bagi pengangkutan alir lintang-penyebaran (kaedah anggaran) dan pengangkutan penyebaran sahaja tanpa kesan penyerapan.]

(8 Marks / Markah)

....9/-

Question 6
[Soalan 6]

- (a) Discuss the fundamental processes involved in bioventing and soil vapor extraction (SVE) as in-situ remediation technologies, including how each technology operates in the subsurface and how it promotes the removal or biodegradation of volatile and biodegradable contaminants under varying environmental conditions.

[Bincangkan proses asas yang terlibat dalam bioventing dan pengekstrakan wap tanah (SVE) sebagai teknologi pemulihan in-situ, termasuk bagaimana setiap teknologi beroperasi dalam lapisan bawah tanah dan bagaimana ia menggalakkan penyingkiran atau biodegradasi bahan pencemar yang meruap dan boleh terbiodegradasi di bawah pelbagai keadaan persekitaran.]

(8 Marks / Markah)

- (b) A site contaminated with a mixture of trichloroethylene (TCE) (volatile compound) and diesel-range hydrocarbons (DRH) (non-volatile compound) in the saturated zone is being considered for remediation using either air sparging or biosparging. Evaluate which technology is more appropriate for each contaminant, supporting your answer with factors such as contaminant properties, soil permeability and microbial activity.

[Tapak yang tercemar dengan campuran trikloroetilena (TCE) (sebatian meruap) dan hidrokarbon jenis diesel (DRH) (sebatian tidak meruap) dalam zon tepu sedang dipertimbangkan untuk pemulihan menggunakan sama ada "air sparging" atau "biosparging". Nilai teknologi yang manakah lebih sesuai untuk setiap bahan cemar, dengan menyokong jawapan anda menggunakan faktor seperti sifat bahan cemar, kebolehtelapan tanah dan aktiviti mikrob.]

(8 Marks / Markah)

- (c) Air sparging involves the injection of air into the subsurface (in the zone of saturation) to encourage transfer of volatile organic contaminants. Justify relative applicability of air sparging for remediating the following types of contaminants in groundwater: (a) benzene; (b) trichloroethane (TCE); (c) phenanthrene; (d) methyl tertiary butyl ether (MTBE). Vapor pressure for each contaminant is shown in **Figure Q6 (c)**.

*[Air sparging melibatkan suntikan udara ke bawah permukaan (dalam zon tepu) untuk menggalakkan pemindahan bahan cemar organik yang meruap. Justifikasikan applikasi "air sparging" untuk remediasi jenis pencemar di air bawah tanah: (a) benzena; (b) trikloroethana (TCE); (c) fenantrena dan (d) metil tertiar butil ethar (MTBE). Tekanan wap bagi setiap bahan cemar ditunjukkan dalam **Rajah S6 (c)**.]*

....10/-

Contaminants <i>[Bahan cemar]</i>	Vapor pressure (mm Hg at 298K) <i>[Tekanan wap]</i>
Benzene <i>[Benzena]</i>	95
TCE	69
Phenanthrene <i>[Fenantrena]</i>	0.00068
MTBE	250

Figure Q6 (c)
[Rajah S6 (c)]

(4 Marks / *Markah*)

....11/-

APPENDIX 1
[LAMPIRAN 1]

Typical NAPLs and their properties

[Sifat-sifat NAPLs]

Chemical <i>[Bahan Kimia]</i>	Density (g/cm ³)	M.W (g/mol)	Water Solubility (mg/l)	Vapor Pressure (mm Hg)	Henry's Law Constant (atm.m ³ /mol)	NAPL Type
Benzene	0.8765	78.11	1780	76	5.43 x 10 ⁻³	LNAPL
Ethyl benzene	0.867	106	152	7	7.9 x 10 ⁻³	
Toluene	0.8669	92	515	22	6.61 x 10 ⁻³	
o-Xylene	0.880	106	170	7	4.94 x 10 ⁻³	
Methyl tertiary butyl ether (MTBE)	0.74	88.15	-	-	-	
Methyl ethyl ketone	0.805	72.11	26800	71.2	2.74 x 10 ⁻⁵	
Vinyl chloride	0.910	62.5	2670	2660	2.78	
Trichloroethylene	1.462	131	1100	72.6	0.0091	DNAPL
Tetrachloroethylene	1.625	165.8	150	20	0.0153	
Methylene chloride	1.325	85	13200	3789	0.010	
Naphthalene	1.162	128	3.1	0.23	4.6 x 10 ⁻⁴	
Phenanthrene	1.20	178	1.3	6.8 x 10 ⁻⁴	2.56 x 10 ⁻⁵	
Pyrene	1.271	-	0.148	6.85 x 10 ⁻⁷	1.87 x 10 ⁻⁵	

Equation used:

[Persamaan yang digunakan]

$$C_{(z,t)} = C_0 \operatorname{erfc}\left(\frac{z}{2\sqrt{D^*t/R}}\right)$$

$$C_{(x,y,t)} = \frac{C_0 A}{4\pi t \sqrt{D_L D_T}} \exp\left[-\frac{[(x-x_0)-V_s t]^2}{4D_L t} - \frac{(y-y_0)^2}{4D_T t}\right]$$

$$C_{(z,t)} = \frac{C_0}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{Rz - V_s t}{2\sqrt{D^*tR}}\right)$$

$$C_{(z,t)} = \frac{C_0}{2} \left[\operatorname{erfc}\left(\frac{Rz - V_s t}{2\sqrt{D^*tR}}\right) + \exp\left(\frac{V_s z}{D^*}\right) \operatorname{erfc}\left(\frac{Rz + V_s t}{2\sqrt{D^*tR}}\right) \right]$$

....12/-

APPENDIX 2

[LAMPIRAN 2]

Table of values (Error and complementary error function values)*[Jadual nilai (Ralat dan nilai fungsi ralat pelengkap)]*

u	<i>erf</i> (u)	<i>erfc</i> (u)
0.00	0.00	1.0
0.05	0.0563720	0.9436280
0.10	0.1124629	0.8875371
0.15	0.1679960	0.8320040
0.20	0.2227026	0.7772974
0.25	0.2763264	0.7236736
0.30	0.3286268	0.6713732
0.35	0.3793821	0.6206179
0.40	0.4283924	0.5716076
0.45	0.4754817	0.5245183
0.50	0.5204999	0.4795001
0.55	0.5633234	0.4366766
0.60	0.6038561	0.3961439
0.65	0.6420293	0.3579707
0.70	0.6778012	0.3221988
0.75	0.7111554	0.2888446
0.80	0.7421008	0.2578992
0.85	0.7706679	0.2293321
0.90	0.7969081	0.2030919
0.95	0.8208907	0.1791093
1.00	0.8427007	0.1572993
1.10	0.8802050	0.1197950
1.20	0.9103140	0.0896860
1.30	0.9340079	0.0659921
1.40	0.9522851	0.0477149
1.50	0.9661051	0.0338949
1.60	0.9763484	0.0236516
1.70	0.9837905	0.0162095
1.80	0.9890905	0.0109095
1.90	0.9927904	0.0072096
2.00	0.9953223	0.0046777
2.10	0.9970205	0.0029795
2.20	0.9981372	0.0018628
2.30	0.9988568	0.0011432
2.40	0.9993115	0.0006885
2.50	0.9995930	0.0004070
2.60	0.9997640	0.0002360
2.70	0.9998657	0.0001343
2.80	0.9999250	0.0000750
2.90	0.9999589	0.0000411
3.00	0.9999779	0.0000221

-oooOooo-