
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Second Semester Examination
2016/2017 Academic Session

June 2017

EKC 222 – Chemical Engineering Thermodynamics
[Termodinamik Kejuruteraan Kimia]

Duration : 3 hours
[Masa : 3 jam]

Please ensure that this examination paper contains SEVEN printed pages and ONE printed page of Appendix before you begin the examination.

[Sila pastikan bahawa kertas peperiksaan ini mengandungi TUJUH muka surat yang bercetak dan SATU muka surat Lampiran sebelum anda memulakan peperiksaan ini.]

Instruction: Answer **ALL** (4) questions.

Arahan: Jawab **SEMUA** (4) soalan.]

In the event of any discrepancies, the English version shall be used.

[Sekiranya terdapat sebarang percanggahan pada soalan peperiksaan, versi Bahasa Inggeris hendaklah diguna pakai].

Answer ALL questions.

1. [a] One can of Coke (330 ml) contains 141.9 cal and one can of Diet Coke contain 1.32 cal. If JK burn 500 calories per hour during jogging how much time it takes for JK to burn all the calories from [i] normal Coke and [ii] Diet Coke? If JK with body weight of 72 kg is running at his normal pace of 10 km/hour, do your answer in [i] and [ii] logically sound? State all assumptions you have made to fulfill energy conservation principle in doing this calculation. (1 kcal = 4184 joule and human energy efficiency is around 20%).

[10 marks]

- [b] A bar of aluminum is placed in a large bath of ice and water. Current is passed through the bar until, at steady state, there is a power dissipation of 1000 Watt. A thermocouple on the surface of the aluminum reads 640 K. Film boiling is occurring at the interface with a subsequent, noisy collapse of the bubbles.

- [i] Is this a reversible or irreversible process?

[2 marks]

- [ii] Is this a spontaneous process? Explain why?

[3 marks]

- [iii] Calculate the entropy change ΔS of the bar and water during 2 min of this process? (Assume that the ice melting is insignificant within this period of time).

[10 marks]

2. [a] Consider Joule's classical experiment to show the energy conservation by doing mechanical work to raise the temperature of the water. Assuming no friction and heat losses in the entire experimental setup, what is the temperature rise would be found in 1 kg of water as a result of a 1kg weight being lowered for 1 meter? Taking C_p is 4.184 J/kg°C for water. (1 J = 1 m²kg/s²)

[5 marks]

- [b] Based on your understanding on van der Waals equation of state (EOS), and the equations provided below, explain what is

- [i] the similarity, and

[4 marks]

- [ii] the differences

[6 marks]

between van der Waals EOS with Redlich-Kwong EOS and Peng-Robinson EOS.

van der Waals	:	$P = \frac{RT}{v-b} - \frac{a}{v^2}$
Redlich-Kwong	:	$P = \frac{RT}{v-b} - \frac{a}{T^{1/2}v(v+b)}$
Peng-Robinson	:	$P = \frac{RT}{v-b} - \frac{a(T)}{v(v+b)+b(v-b)}$

...3/-

Jawab SEMUA soalan.

1. [a] Satu tin Coke (330 ml) mengandungi 141.9 kal dan satu tin Diet Coke mengandungi 1.32 kal. Jika JK membakar 500 kal sejam semasa berjoging, berapa banyak masa yang diperlukan oleh JK untuk membakar semua kalori daripada [i] Coke biasa dan [ii] Coke Diet? Jika JK dengan berat badan 72 kg berlari pada kadar 10 km/jam, adakah jawapan anda dalam [i] dan [ii] logik? Nyatakan semua andaian yang telah anda buat untuk memenuhi prinsip pengabdian tenaga dalam melakukan pengiraan ini. (1 kcal = 4184 joule dan kecekapan tenaga manusia adalah sekitar 20%).

[10 markah]

[b] Seketul bar aluminium ditempatkan dalam satu tangki yang mengandungi air dan ais. Arus dialirkan melalui bar tersebut pada keadaan mantap sehingga resapan kuasa diperolehi sebanyak 1000 Watt. Suhu pada permukaan bar aluminium itu adalah sebanyak 640 K. Pendidihan saput berlaku pada antara muka dituruti runtuh gelembung yang bising.

[i] Adakah proses ini berbalik atau tidak berbalik?

[2 markah]

[ii] Adakah proses ini spontan? Jelaskan.

[3 markah]

[iii] Kirakan perubahan entropi ΔS untuk bar dan air semasa 2 minit proses tersebut. (Andaikan pelarutan ais tidak signifikan dalam tempoh ini).

[10 markah]

2. [a] Pertimbangkan eksperimen klasik Joule untuk menunjukkan pengabdian tenaga dengan melakukan kerja mekanikal untuk menaikkan suhu air. Andaikan tiada geseran dan tiada kehilangan haba sepanjang eksperimen ini, berapa kenaikan suhu untuk 1 kg air akibat daripada berat 1 kg-diturunkan untuk 1 meter? Mengambil C_p untuk air adalah 4.184 J/kg °C. (1 J = 1 m²kg/s²)

[5 markah]

[b] Berdasarkan pemahaman anda mengenai persamaan keadaan (EOS) van der Waals dan persamaan yang disediakan di bawah, terangkan

[i] persamaan, dan

[4 markah]

[ii] perbezaan

[6 markah]

di antara EOS van der Waals, EOS Redlich-Kwong dan EOS Peng-Robinson.

van der Waals	:	$P = \frac{RT}{v-b} - \frac{a}{v^2}$
Redlich-Kwong	:	$P = \frac{RT}{v-b} - \frac{a}{T^{1/2}v(v+b)}$
Peng-Robinson	:	$P = \frac{RT}{v-b} - \frac{a(T)}{v(v+b) + b(v-b)}$

[c] A heat engine is operating on a Carnot cycle and has a thermal efficiency of 75%. The waste heat from this engine is rejected to a nearby lake at 15°C at a rate of 14 kW.

- [i] Determine the power output of the engine.
- [ii] Find the temperature of its heat source in °C.
- [iii] State all your assumption in solving these problem.

[10 marks]

3. It is desired to produce Liquefied Natural Gas (*LNG*), which we consider to be pure methane, from that gas at 1 bar and 280 K (conditions at point 1 in Figure Q.3.1 and Q.3.2). Leaving the cooler, methane is at 100 bar and 210 K (point 3). The flash drum is adiabatic and operates at 1 bar, and the compressor can be assumed to operate reversibly and adiabatically. However, because of the large pressure change, a three-stage compressor with intercooling is used. The first stage compressor compresses the gas from 1 bar to 5 bar, the second stage from 5 bar to 25 bar, and the third stage from 25 to 100 bar. Between stages, the gas is isobarically cooled to 280 K.

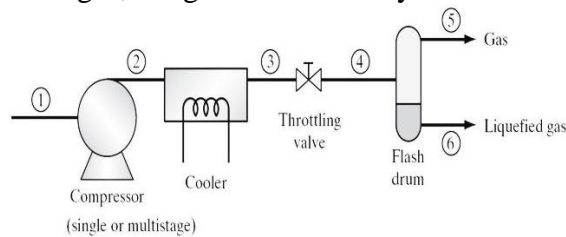


Figure Q.3.1: A simple liquefaction process without recycle.

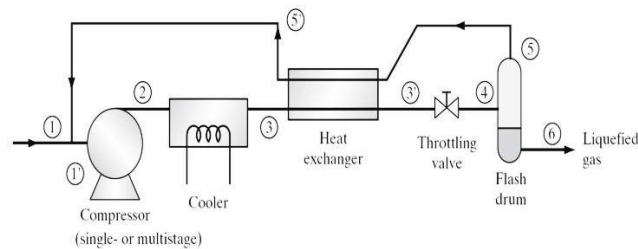


Figure Q.3.2: Linde Liquefaction process with recycle.

[a] Calculate the amount of work required for each kilogram of methane that passes through the compressor in the simple liquefaction process.

[12 marks]

[b] Calculate the fraction of vapor and liquid leaving the flash drum in the simple liquefaction process of Figure Q.3.1 and the amount of compressor work required for each kilogram of *LNG* produced.

[5 marks]

[c] Assuming that the recycle methane leaving the heat exchanger in the Linde process (Figure Q.3.2) is at 1 bar and 200 K, calculate the amount of work required for each kilogram of *LNG* produced.

[8 marks]

Note: The thermodynamic properties (*p*-*H* diagram) of methane is given in the Appendix. **Please attach the *p*-*H* diagram with your answer script.**

...5/-

[c] Sebuah enjin haba beroperasi pada kitaran Carnot dan memiliki kecekapan haba 75%. Kehilangan haba daripada enjin ini disalurkan ke dalam tasik berhampiran pada 15 °C dengan kadar 14 kW.

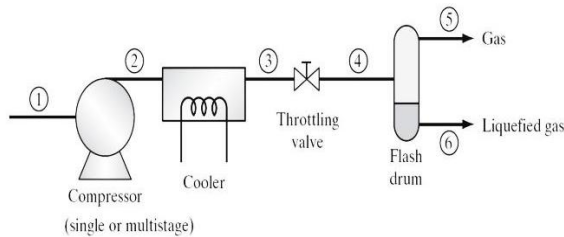
[i] Tentukan kuasa keluaran enjin.

[ii] Berikan suhu untuk sumber haba dalam °C.

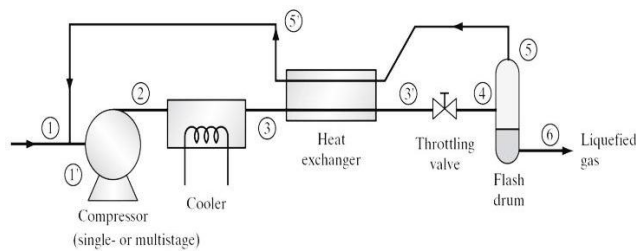
[iii] Nyatakan semua andaian anda dalam menyelesaikan masalah ini.

[10 markah]

3. Ia dikehendaki untuk menghasilkan gas asli cecair yang dianggap sebagai metana tulen, dari gas pada 1 bar dan 280 K (keadaan pada titik 1 dalam Rajah S.3.1 dan S.3.2). Metana yang meninggalkan penyejuk akan berada pada 100 bar dan 210 K (titik 3). Gelendong kilat adalah adiabatik dan beroperasi pada 1 bar, dan setiap peringkat pemampat boleh diandaikan beroperasi secara berbalik dan adiabatik. Walau bagaimanapun disebabkan oleh perubahan tekanan yang tinggi, tiga peringkat pemampat bersama pendinginan digunakan. Peringkat pertama mampatan gas dari 1 bar ke 5 bar, peringkat kedua dari 5 bar ke 25 bar, dan peringkat ketiga dari 25 bar ke 100 bar. Antara peringkat, gas akan disejukkan secara isobarik ke 280 K.



Rajah S.3.1: Proses pencecairan mudah tanpa kitar semula.



Rajah S.3.2: Proses pencecairan Linde tanpa kitar semula.

[a] Kirakan jumlah kerja diperlukan oleh setiap kilogram metana yang melalui pemampat dalam proses pencecairan mudah.

[12 markah]

[b] Kirakan pecahan wap dan cecair yang meninggalkan gelendong kilat dalam proses pencecairan mudah dari Rajah S.3.1 dan jumlah kerja diperlukan untuk setiap kilogram LNG yang terhasil.

[5 markah]

[c] Andaikan metana yang dikitar semula meninggalkan penukar haba dalam proses Linde (Rajah S.3.2) pada 1 bar dan 200 K, kirakan jumlah kerja yang diperlukan oleh pemampat untuk setiap kilogram LNG yang terhasil.

[8 markah]

Nota: Sifat termodinamik (gambarajah p-H) metana di berikan di lampiran. Sila kepilkan gambarajah p-H bersama buku jawapan anda.

...6/-

4. [a] Assuming a mixture of *n*-pentane and *n*-heptane is ideal, prepare Vapor-Liquid Equilibrium (*VLE*) diagrams for this mixture at :

[i] A constant temperature of 50 °C

or

[ii] A constant pressure of 1.013 bar

Data:

$$\ln P_5^{vap} = 10.422 - \frac{26799}{RT} \quad \text{and} \quad \ln P_7^{vap} = 11.431 - \frac{35200}{RT}$$

For *P* in bar, *T* in K, and *R* = 8.314 J/(mol K). The subscripts 5 and 7 designate pentane and heptanes, respectively.

[10 marks]

- [b] The following is a set of activity-coefficient data for a binary liquid system as determined from *VLE* data :

x_1	γ_1	γ_2	x_1	γ_1	γ_2
0.0523	1.202	1.002	0.5637	1.120	1.102
0.1299	1.307	1.004	0.6469	1.076	1.170
0.2233	1.295	1.006	0.7832	1.032	1.298
0.2764	1.228	1.024	0.8576	1.016	1.393
0.3482	1.234	1.022	0.9388	1.001	1.600
0.4189	1.180	1.049	0.9813	1.003	1.404
0.5001	1.129	1.092			

Inspection of these experimental values suggests that they are *noisy*, but the question is whether they are *consistent*, and therefore possibly on average correct.

- [i] Find experimental values for G^E/RT and plot them along with the experimental values on $\ln \gamma_1$ and $\ln \gamma_2$ on a single graph.

[5 marks]

- [ii] Develop a valid correlation for the composition dependence of G^E/RT and show lines on the graph of part [a] that represent this correlation for all three of the quantities plotted there.

[5 marks]

- [iii] Apply the consistency test to these data, and draw a conclusion with respect to this test.

[5 marks]

4. [a] Andaikan satu campuran n-pentana dan n-heptana adalah unggul, sediakan gambarajah keseimbangan wap-cecair untuk campuran ini pada :

- [i] Suhu malar 50 °C
atau
- [ii] Tekanan malar 1.013 bar

Data :

$$\ln P_5^{\text{vap}} = 10.422 - \frac{26799}{RT} \text{ dan } \ln P_7^{\text{vap}} = 11.431 - \frac{35200}{RT}$$

P dalam bar, T dalam K dan R = 8.314 J/(mol K). Subskrip 5 dan 7 masing-masing merujuk kepada pentana dan heptana.

[10 markah]

[b] Berikut adalah satu set data pekali-aktiviti untuk sistem penduaan cecair dari data VLE :

x_1	γ_1	γ_2	x_1	γ_1	γ_2
0.0523	1.202	1.002	0.5637	1.120	1.102
0.1299	1.307	1.004	0.6469	1.076	1.170
0.2233	1.295	1.006	0.7832	1.032	1.298
0.2764	1.228	1.024	0.8576	1.016	1.393
0.3482	1.234	1.022	0.9388	1.001	1.600
0.4189	1.180	1.049	0.9813	1.003	1.404
0.5001	1.129	1.092			

Pemeriksaan ke atas nilai-nilai eksperimen menunjukkan data ini hingar, tetapi terdapat persoalan sama ada ianya konsisten, dan oleh itu berkemungkinan purata benar.

[i] Carikan nilai-nilai eksperimen untuk G^E/RT dan plot bersama nilai-nilai eksperimen pada $\ln \gamma_1$ dan $\ln \gamma_2$ atas satu graf.

[5 markah]

[ii] Bangunkan satu sekaitan sah untuk komposisi kebergantungan G^E/RT dan tunjukkan garisan pada graf bahagian [a] yang mewakili sekaitan untuk ketiga-tiga kuantiti yang diplot di situ.

[5 markah]

[iii] Gunakan ujian konsistensi ke atas data tersebut, dan berikan satu kesimpulan untuk ujian ini.

[5 markah]

Appendix

Note: Please attached with your answer book.

Nama : _____

Angka Giliran : _____

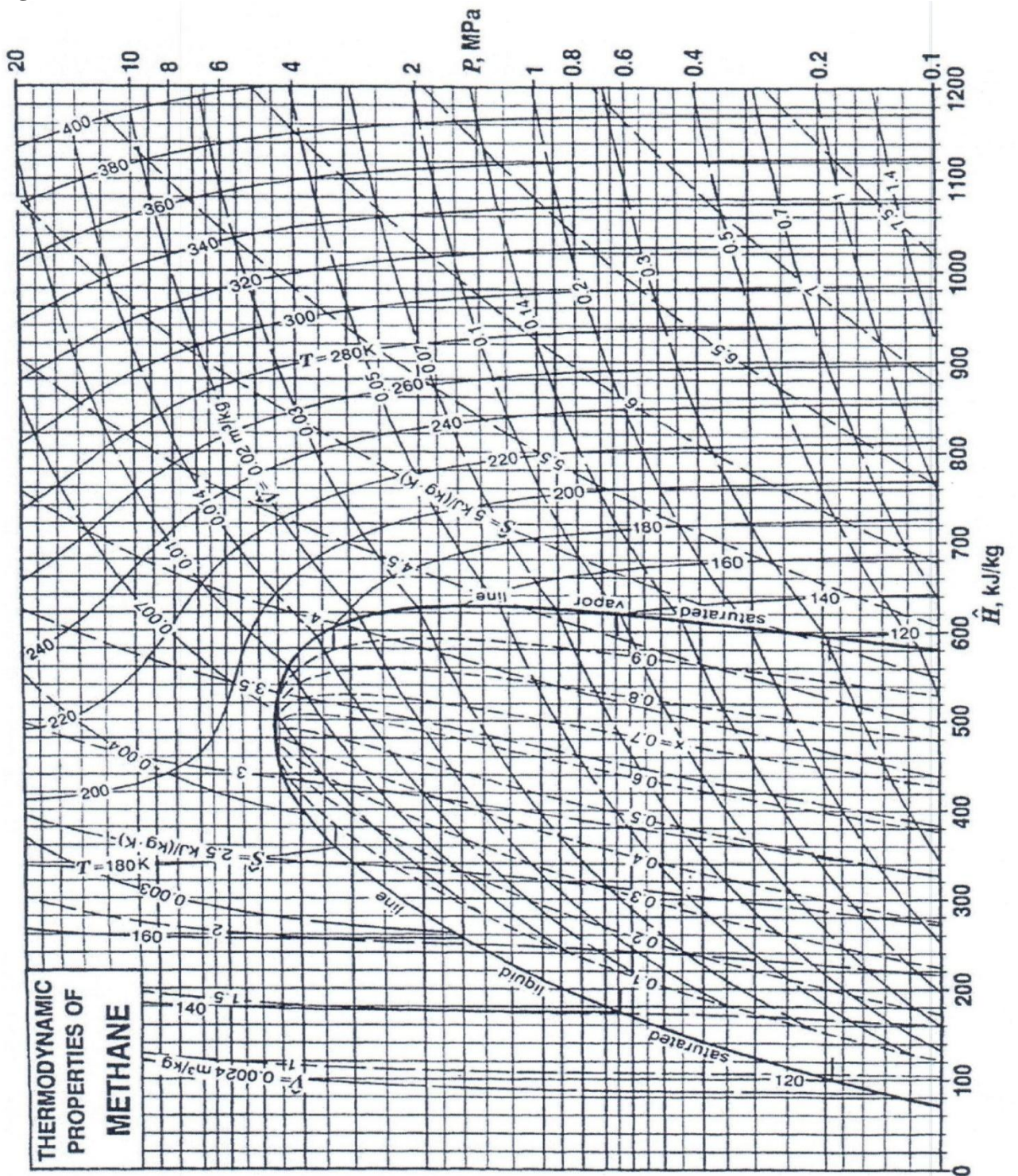


Figure Q.3 : p-H diagram