



Second Semester Examination
Academic Session 2017/2018

May/June 2018

EME 432 – Internal Combustion Engine
[Enjin Pembakaran Dalam]

Duration : 3 hours
[Masa : 3 jam]

Please check that this paper contains **TEN [10]** printed pages before you begin the examination.

*[Sila pastikan bahawa kertas soalan ini mengandungi **SEPULUH [10]** mukasurat bercetak sebelum anda memulakan peperiksaan.]*

INSTRUCTIONS : Answer **ALL SIX [6]** questions.
*[**ARAHAN** : Jawab **SEMUA ENAM [6]** 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.]

1. [a] (i) With the aid of piston kinematic position sketches, describe the principles of operation of a 4-stroke spark ignition engine. State THREE (3) major differences between spark ignition engine and compression ignition engine.

Dengan bantuan lakaran kedudukan kinematik omboh, jelaskan prinsip operasi enjin cucuhan 4-lejang dan cucuhan percikan. Nyatakan TIGA (3) perbezaan ciri-ciri enjin cucuhan percikan dan enjin cucuhan mampatan.

(20 marks/markah)

- (ii) From the basic equation of Otto cycle efficiency, $\eta_{\text{otto}} = \frac{W_{\text{out}}}{Q_{\text{in}}}$, derive the Otto cycle efficiency as follows,

Dari persamaan asas kecekapan kitar Otto, $\eta_{\text{otto}} = \frac{W_{\text{out}}}{Q_{\text{in}}}$, terbitkan kecekapan kitar Otto seperti berikut,

$$\eta_{\text{otto}} = 1 - \left(\frac{1}{\text{CR}} \right)^{k-1}$$

Assume that the air-fuel mixture behaves like an ideal gas, and adiabatic process takes place during compression and expansion in Otto cycle.

Andaikan campuran udara-bahan api berkelakuan seperti gas unggul, dan proses adiabatik berlaku semasa pemampatan dan pengembangan dalam kitar Otto.

Where/ yang mana:

$$\text{CR} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{V_4}{V_3} \text{ (in reference to Figure 1[b]) /}$$

merujuk kepada Rajah 1[b])

Ideal gas law / Hukum gas unggul: $PV^k = nRT$

$$\eta_{\text{otto}} = 1 - \left(\frac{1}{\text{CR}} \right)^{k-1}$$

(30 marks/markah)

- [b] Figure 1[b] shows an idealized Otto cycle for a four stroke engine with a compression ratio, $CR = 10$. Fuel used is C_8H_{18} with lower heating value (Q_{lhv}) of 44.4 MJ/kg. The combustion is stoichiometric. $T_1 = 273.15$ K, $P_1 = 101,325$ Pa. The air density at point 1 is 1.2 kg/m³. $M_{fuel}/M_{total} = 0.06$, $C_v = 946$ J/kg/K, $k = 1.3$

Rajah 1[b] menunjukkan kitaran Otto terunggul untuk enjin empat lejang dengan nisbah mampatan, $CR = 10$. Bahanapi digunakan ialah C_8H_{18} dengan nilai pemanasan rendah ialah 44.4 MJ / kg. Pembakaran adalah stoikiometri. $T_1 = 273.15K$, $P_1 = 101,325$ Pa. Ketumpatan udara pada titik 1 ialah 1.2 kg / m³. $M_{fuel}/M_{total} = 0.06$, $C_v = 946$ J / kg /K, $k = 1.3$

Relevant formulas / Persamaan berkaitan:

$$\eta_{otto} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}$$

During combustion / Semasa pembakaran:

$$Q = M_f Q_{lhv} = M_{Total} C_v (T_{final} - T_{initial})$$

Ideal gas law / Hukum gas unggul:

$$PV^k = \text{Constant}$$

$$PV = nRT$$

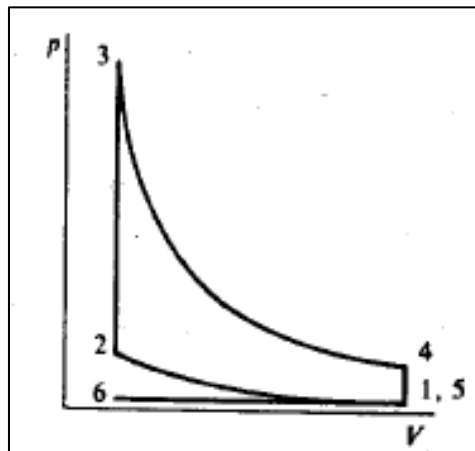


Figure 1[b]

Rajah 1[b]

- (i) Name all the processes in Figure 1(b):
Namakan semua proses dalam Rajah 1(b):

1-2: _____
2-3: _____
3-4: _____
4-5: _____
5-6: _____
6-1: _____

(20 marks/markah)

- (ii) Calculate the pressures (P_1, P_2, P_3, P_4 and P_5), temperatures (T_1, T_2, T_3, T_4 and T_5) and the Otto cycle efficiency of this engine.

Kira tekanan (P_1, P_2, P_3, P_4 dan P_5), suhu (T_1, T_2, T_3, T_4 dan T_5) dan kecekapan kitar Otto bagi enjin ini.

(30 marks/markah)

2. [a] (i) Describe THREE (3) ways of how hybrid drive train improve fuel economy of a vehicle.

Terangkan TIGA (3) cara bagaimana kereta sistem pemanduan hibrid meningkatkan ekonomi bahan api.

(15 marks/markah)

- (ii) List FIVE (5) parameters in equation (2a ii) that can be manipulated to improve an engine brake power. For each parameter, discuss ONE (1) method to improve brake power and provide ONE (1) limitation if this parameter is manipulated.

Senaraikan LIMA (5) parameter dalam persamaan (2a ii) yang boleh dimanipulasi untuk meningkatkan kuasa enjin brek. Bagi setiap parameter, bincangkan SATU (1) kaedah dan SATU (1) had jika parameter ini dimanipulasi.

$$\text{Brake Power} = \eta_m (0.8 \eta_{\text{otto}}) \eta_c \eta_v \rho_{\text{air}} V_d \frac{N}{n} Q_{\text{lhv}} \frac{1}{\text{AFR}} \quad \text{----- (2a ii)}$$

(35 marks/markah)

- [b] A 883cc four stroke engine running on wide open throttle (WOT) at a speed of 1500 rpm and consumes 55g gasoline (C_8H_{15}) per minute. The volumetric efficiency is 90% and density of air is 1.2 kg/m^3 . Molar mass: N = 14 g/mol, O = 16 g/mol, H = 1 g/mol, C = 12 g/mol

Sebuah enjin 883cc empat lejang beroperasi pada pendikit terbuka luas (WOT) pada kelajuan 1500 rpm dan menggunakan gasolin (C_8H_{15}) sebanyak 55g per minit. Kecekapan isipadu ialah 90% dan ketumpatan udara ialah 1.2 kg/m^3 .

Jisim mol: N = 14 g/mol, O = 16 g/mol, H = 1 g/mol, C = 12 g/mol

Calculate / Kira:

(i) The stoichiometric air fuel ratio (AFR) for the fuel mentioned.

Nisbah udara kepada bahan api (AFR) stoikiometri untuk bahan api tersebut.

(25 marks/markah)

(ii) The real AFR and equivalence ratio for the combustion.

Nisbah sebenar udara kepada bahan api (AFR) dan nisbah setara untuk pembakaran tersebut.

(25 marks/markah)

- 3. [a] A six-cylinder, four-stroke diesel engine develops 125 kW at 3000 rpm. Its brake specific fuel consumption is 200 g/kWh. Calculate the quantity of fuel (in c.c.) to be injected per cycle per cylinder. Assume specific gravity of the fuel as 0.85.**

Enjin diesel enam silinder, empat lejang menghasilkan 125 kW pada 3000 rpm. penggunaan bahan api tentu brek ialah 200 g/kWh. Kirakan kuantiti bahan api (dalam unit c.c.) yang akan disuntik bagi setiap kitaran setiap silinder. Anggapkan graviti tentu bahan api sebagai 0.85.

(50 marks/markah)

- [b] Spray penetration of 22 cm in 16 milliseconds is obtained at air injection pressure of 145 bar. Calculate the time required (in millisecond) for the spray to penetrate the same distance at an air injection pressure of 235 bar. Assume that the orifice and the combustion chamber density are the same at both test conditions. The combustion chamber pressure is 30 bar.**

Penembusan sembur 22 cm dalam 16 milisaat diperolehi pada tekanan suntikan udara 145 bar. Kirakan masa yang diperlukan (dalam unit milisaat) untuk semburan menembus jarak yang sama pada tekanan suntikan udara sebanyak 235 bar. Anggapkan bahawa orifis dan ketumpatan kebuk pembakaran adalah sama pada kedua-dua keadaan ujian. Tekanan kebuk pembakaran ialah 30 bar.

Notes/Nota:

Use the relation / Gunakan hubungan: $s = t\sqrt{\Delta P}$

Where / Di mana,

- s : **The spray penetration in cm**
Penembusan sembur dalam cm
- t : **The time in millisecond**
Masa dalam milisaat
- ΔP : **The pressure difference between the injection pressure and combustion chamber pressure in bar**
Perbezaan tekanan di antara tekanan suntikan dan tekanan kebuk pembakaran dalam bar

(50 marks/markah)

- 4. [a] **Plot diesel combustion chart (heat release rate vs. crank angle) and explain the FOUR (4) main stages of diesel combustion. The chart should be labelled with the FOUR (4) stages of diesel combustion.**

Plot carta pembakaran diesel (kadar pelepasan haba lwn. sudut engkol) dan jelaskan EMPAT (4) peringkat utama bagi pembakaran diesel. Carta hendaklah dilabel dengan EMPAT (4) peringkat pembakaran diesel tersebut.

(40 marks/markah)

- [b] **A diesel engine operating on four-stroke cycle is to be designed to operate with the following characteristics at sea level, where the mean conditions are 1.0132 bar and 10°C.**

Sebuah enjin diesel yang beroperasi pada kitar empat lejang akan direkabentuk untuk beroperasi dengan ciri-ciri berikut pada paras laut, di mana keadaan purata ialah 1.0132 bar dan 10°C.

Given / Diberi:

Brake power (BP) / Kuasa brek = 260 kW

Volumetric efficiency (η_v) / Kecekapan isipadu keadaan udara bebas pada paras laut = 78% (at sea level free air conditions)

Specific fuel consumption (SFC) / Penggunaan bahan api khusus = 0.247 kg/kWh

A/F ratio / Nisbah A/F = 17

Speed / Kelajuan = 1500 rpm

Relevant equations / Persamaan berkaitan:

$$m_{fa} = \rho_1 V_s / RT_1$$

where m_{fa} is mass of free air corresponding to swept volume and V_s is the swept volume

yang mana m_{fa} ialah jisim udara bebas yang sepadan dengan isipadu tersapu dan V_s ialah isipadu tersapu.

$$BP = \frac{BMEP \times V_s \times N \times 10}{6} \text{ Kw}$$

where BP is brake power, $BMEP$ is brake mean effective pressure, V_s is swept volume and N is engine speed

yang mana BP ialah kuasa brek, $BMEP$ ialah tekanan berkesan min brek, V_s ialah isipadu tersapu dan N ialah kelajuan enjin.

Calculate / Kirakan:

- (i) **The required engine capacity (V_s) in m^3**
Kapasiti enjin yang diperlukan (V_s) dalam m^3
- (ii) **Brake mean effective pressure (BMEP) in bar**
Brek Tekanan Berkesan Purata (BMEP) dalam bar

(60 marks/markah)

5. [a] (i) Describe **THREE (3)** necessary changes in engine parameters in order to run high turbo boost on a spark-ignition (SI) engine.

Terangkan TIGA (3) perubahan diperlukan terhadap parameter-parameter enjin jika galak turbo tinggi dijalankan pada enjin cucuhan percikan.

(15 marks/markah)

- (ii) A naturally aspirated diesel engine produces 100 kW at a mechanical efficiency of 85% and an overall brake thermal efficiency of 35%. If a turbocharger is added with a boost of 50%, sketch the energy flow diagram and calculate the fuel input, heat losses, frictional losses, and brake power. Neglect the changes in frictional power and given that the heating value of fuel is 44 MJ/kg.

Sebuah enjin diesel sedutan tabii menghasilkan 100 kW pada 85% kecekapan mekanik dan 35% kecekapan haba brek keseluruhan. Jika pengecas turbo dengan 50% galak ditambahkan, lakarkan gambar rajah aliran tenaga dan kirakan bahan api input, kehilangan haba, kehilangan geseran dan kuasa brek. Abaikan perubahan kuasa geseran dan diberikan nilai pemanasan bahan api adalah 44 MJ/kg.

(45 marks/markah)

- [b] A passenger vehicle operates at stoichiometric air/fuel ratio. While cruising, the exhaust emissions are:

CO: 1.5%, HC: 750 ppm, CO₂: 13.2%, O₂: 1.5%, NO_x: 1000 ppm.

Calculate the approximate exhaust pipe out (after catalyst) emissions numbers of the same pollutants assuming the catalyst is working well.

Sebuah kederaan penumpang beroperasi pada nisbah udara/bahanapi stoikiometri. Ketika meluncur, emisi ekzos adalah:

CO: 1.5%, HC: 750 ppm, CO₂: 13.2%, O₂: 1.5%, NO_x: 1000 ppm.

Kirakan nombor-nombor keluaran anggaran paip ekzos (selepas pemangkin) bagi bahan cemar di atas dengan mengandaikan pemangkin berfungsi dengan baik.

(40 marks/markah)

6. [a] When a three-cylinder, four-stroke cycle, SI engine operating at 4000 rpm is connected to an eddy current dynamometer, 70.4 kW of power is dissipated by the dynamometer. The engine had a total displacement volume of 2.4 liters and a mechanical efficiency of 82% at 4000 rpm. Because of heat and mechanical losses, the dynamometer has an efficiency of 93%.

Apabila sebuah enjin tiga-silinder, berkitar empat-lejang, enjin SI beroperasi pada 4000 rpm dan bersambung dengan sebuah dinamometer arus pusar, sebanyak 70.4 kW kuasa dilesap oleh dinamometer. Jumlah isipadu tersapu bagi enjin berkenaan adalah 2.4 liters dan kecekapan mekanik adalah 82% pada 4000 rpm. Disebabkan kehilangan haba dan mekanikal, maka dinamometer berkenaan mempunyai kecekapan sebanyak 93%.

Calculate/ Kirakan:

- (i) **Brake power (BP), Indicated power (IP) and Friction power (FP) in kW**

Kuasa brek (BP), kuasa tertunjuk (IP) dan kuasa geseran (FP)

- (ii) **Brake mean effective pressure (BMEP) in kPa**

Tekanan berkesan min brek (BMEP) dalam kPa

- (iii) **Engine torque (T) at 4000 rpm**

Tork (T) enjin pada 4000 rpm

- (iv) **Engine specific volume (SV)**

Isipadu tentu (SV) enjin

Where/ yang mana:

$\eta_{\text{dyno}} = \text{[power recorded by dynamometer]} / \text{[actual power from engine]}$

$\eta_{\text{dyno}} = \text{[kuasa yang tercatat dengan dynamometer]} / \text{[kuasa sebenar dari enjin]}$

$P = 2\pi NT$

$P = 2\pi NT$

$SV = V_d / BP$ where SV is engine specific volume (L/kW) and V_d is total displacement volume (L)

$SV = V_d / BP$ dimana SV adalah isipadu tentu enjin (L/kW) dan V_d adalah jumlah isipada tersapu (L)

(40 marks/markah)

- [b] A “bi-fuel” motorcycle can be operated on either LPG or gasoline. In LPG mode it gets 40km/l in normal usage, in gasoline mode it gets 45km/l. The “bi-fuel” conversion kit costs RM 450. Assuming the vehicle is driven 10,000km annually. In gasoline mode it only burns gasoline. In LPG mode it uses LPG 80% of the time and gasoline 20% of the time (when the LPG tank is run out and needs to be refilled). Use the following data in your calculations:

Sebuah motosikal “bi-fuel” mampu beroperasi dengan sama ada LPG ataupun gasolin. Dengan mod LPG ia mendapat 40km/l dengan penggunaan biasa, dan mendapat 45km/l dengan mod gasolin. Kos bagi kit pengubahsuaian adalah RM 450. Andaikan kenderaan tersebut dipandu sejauh 10,000 km setahun. Dalam mod gasolin ia hanya membakar bahan api gasolin. Dalam mod LPG ia menggunakan LPG selama 80% daripada masanya dan gasolin selama 20% daripada masanya (pengisian semula diperlukan jika tangki LPG telah kosong). Gunakan data berikut dalam pengiraan anda.

| | | |
|-------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|
| Fuel/ bahan api | <u>LPG (butane)/ (butana)</u> | <u>Gasoline/ Gasolin</u> |
| Cost/ Kos | RM 25/ 15kg | RM 1.95/ liter |
| Density/ Ketumpatan | 590 g/liter | 720 g/liter |
| Composition/ Komposisi | C₄H₁₀ | C₈H₁₈ |

Calculate/ Kirakan:

- (i) **The annual cost for each mode.**
Kos tahunan bagi setiap mod.
- (ii) **The CO₂ emissions per year in each mode [kg/year].**
Pelepasan gas CO₂ setiap tahun dengan setiap mod [kg/ tahun].

(60 marks/markah)

-oooOooo-