

---

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Second Semester Examination  
2012/2013 Academic Session

June 2013

**EPE 482 – Optical and Surface Metrology**  
*[Metrologi Optik dan Permukaan]*

Duration : 3 hours  
*[Masa : 3 jam]*

---

Please check that this paper contains **NINE (9)** printed pages, and **FIVE (5)** questions before you begin the examination.

*[Sila pastikan bahawa kertas soalan ini mengandungi **SEMBILAN(9)** mukasurat bercetak, dan **LIMA (5)** soalan sebelum anda memulakan peperiksaan.]*

**INSTRUCTIONS** : Answer **ALL** questions. You may answer all questions in **English** OR **Bahasa Malaysia** OR a combination of both.

**ARAHAN** : Jawab **SEMUA** soalan. Calon boleh menjawab semua soalan dalam **Bahasa Malaysia** ATAU **Bahasa Inggeris** ATAU kombinasi kedua-duanya.]

Answer to each question must begin from a new page.

*[Jawapan untuk setiap soalan mestilah dimulakan pada mukasurat yang baru.]*

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.]*

**Q1. [a] Two light waves, one lagging the other by a distance  $r$ , are represented by the following electric vectors:**

$$E_1 = A \cos \left[ \frac{2\pi}{\lambda} (z - vt) \right] \quad \text{and} \quad E_2 = A \cos \left[ \frac{2\pi}{\lambda} (z - vt - r) \right]$$

- (i) Derive the general expression for the resultant intensity vector when the two waves interfere.
- (ii) Hence, obtain an expression for the irradiance  $I$ .
- (iii) If the light waves originate from a single 5 mW laser source ( $\lambda = 632$  nm) which is divided equally before recombining collinearly, determine the maximum intensity (irradiance) and the lag  $r$  at the point where the intensity is one-third the maximum intensity. Given that the light beam diameter is 1 mm.

The following Cosine formula is given:

$$\cos A + \cos B = 2 \cos \frac{A+B}{2} \cos \frac{A-B}{2}$$

*Dua gelombang cahaya, satu menyusuli yang lain pada jarak  $r$ , diwakili oleh vektor-vektor elektrik berikut:*

$$E_1 = A \cos \left[ \frac{2\pi}{\lambda} (z - vt) \right] \quad \text{dan} \quad E_2 = A \cos \left[ \frac{2\pi}{\lambda} (z - vt - r) \right]$$

- (i) *Terbitkan ungkapan umum bagi vektor keamatan paduan apabila kedua-dua gelombang tersebut bergabung.*
- (ii) *Seterusnya, dapatkan suatu ungkapan bagi 'irradiance'  $I$ .*
- (iii) *Jika gelombang-gelombang cahaya tersebut berpunca daripada punca laser tunggal 5 mW ( $\lambda = 632$  nm) yang dibahagi sama rata sebelum bergabung semula secara lurus, tentukan keamatan ('irradiance') maksimum dan susulan  $r$  pada titik di mana keamatan adalah satu pertiga daripada keamatan maksimum. Diberikan bahawa garispusat alur cahaya ialah 1 mm.*

*Rumus kosain berikut diberikan:*

$$\cos A + \cos B = 2 \cos \frac{A+B}{2} \cos \frac{A-B}{2}$$

**(60 marks/markah)**

- [b] Two light waves *A* and *B* interfere obliquely as shown in Figure Q1(b). The angle between the two beams is  $\theta$ .

*Dua gelombang cahaya A dan B berganggu secara serong seperti ditunjukkan dalam Rajah S1(b). Sudut di antara kedua-dua alur ialah  $\theta$ .*

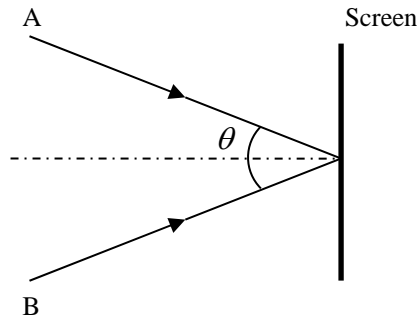


Figure Q1[b]  
Rajah S1[b]

- (i) Using complex amplitude, or otherwise, show that the spacing  $\Delta S$  between the fringes formed on the screen is given by

$$\Delta S = \frac{\lambda}{2 \sin \theta/2}$$

where  $\lambda$  is the wavelength of the light.

*Dengan menggunakan amplitud kompleks, atau cara lain, tunjukkan bahawa jarak  $\Delta S$  di antara pinggir-pinggir yang terbentuk pada skrin diberikan oleh*

$$\Delta S = \frac{\lambda}{2 \sin \theta/2}$$

*di mana  $\lambda$  ialah jarak gelombang cahaya.*

- (ii) If the spacing between the fringes is limited to 0.5 mm, determine the minimum angle required between the light beams. Take  $\lambda$  as 632 nm.

*Jika jarak di antara pinggir-pinggir dihadkan kepada 0.5 mm, tentukan sudut minimum yang diperlukan di antara alur-alur cahaya tersebut. Ambil  $\lambda$  sebagai 632 nm.*

(40 marks/markah)

- Q2. [a] With aid of sketches, explain the difference between wavefront division and amplitude division. Give ONE(1) example of an interferometer that uses: (i) wavefront division and (ii) amplitude division.

*Dengan bantuan lakaran, terangkan perbezaan antara pembahagian muka gelombang dan pembahagian amplitud. Berikan SATU(1) contoh meter ganggu yang menggunakan (i) pembahagian muka gelombang dan (ii) pembahagian amplitud.*

(30 marks/markah)

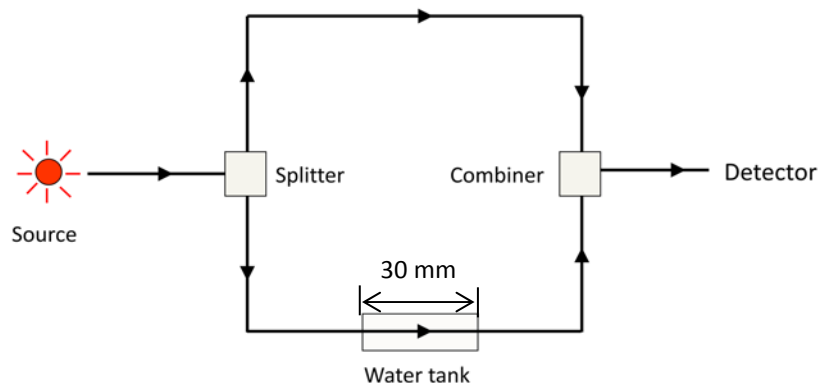
- [b] Explain, with the aid of diagrams, the difference between temporal coherence and spatial coherence.

*Terangkan, dengan bantuan gambarajah, perbezaan antara koherens masa dengan koherens ruang.*

(20 marks/markah)

- [c] Figure Q2[c] shows the layout of a generic interferometer. The distance traveled by the two light beams is equal. However, one of the light beams passes through a glass water tank of width 30 mm. The refractive index of water is 1.25. Neglecting the effect of the glass, determine the phase difference that causes interference between the beams arriving at the detector. Assume wavelength  $\lambda = 632 \text{ nm}$ .

*Rajah S2[c] menunjukkan susunatur sebuah meter ganggu generik. Jarak yang dilalui oleh kedua-dua alur cahaya adalah sama. Namun, salah satu daripada alur tersebut melintasi sebuah tangki air kaca yang mempunyai lebar 30 mm. Indeks biasan air ialah 1.25. Dengan mengabaikan kesan kaca, tentukan perbezaan fasa yang menyebabkan interferens antara alur-alur yang sampai ke pengesan. Anggapkan jarak gelombang  $\lambda = 632 \text{ nm}$ ,*



**Figure Q2[c]**  
*Rajah S2[c]*

(50 marks/markah)

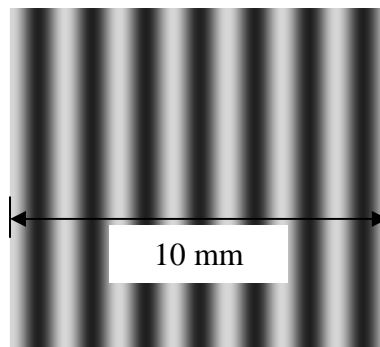
- Q3. [a] Sketch the optical layout of the following interferometers: (i) Michelson interferometer and (ii) Twyman-Green interferometer. State TWO(2) basic differences between the two types of interferometer.

*Lakarkan susunatur optik meter-meter ganggu berikut: (i) meter ganggu Michelson dan (ii) meter ganggu Twyman-Green. Nyatakan DUA(2) perbezaan asas antara meter-meter ganggu tersebut.*

(30 marks/markah)

- [b] **Figure Q3[b] shows the fringe pattern formed in a Twyman-Green interferometer by tilting the object mirror relative to the reference mirror. The length of the object mirror is 10 mm as shown. If the beam is expanded to cover the entire surface of the mirror, estimate the angle of tilt of the object mirror. The wavelength of the light used in the interferometer is 632 nm.**

*Rajah S3[b] menunjukkan corak pinggir yang terbentuk dalam meter ganggu Tywman-Green dengan mencondongkan cermin objek relatif kepada cermin rujukan. Panjang cermin objek ialah 10 mm seperti ditunjukkan. Jika alur dikembangkan untuk meliputi seluruh permukaan cermin, anggarkan sudut condong cermin objek. Jarak gelombang cahaya yang digunakan dalam meter gangguan ialah 632 nm.*

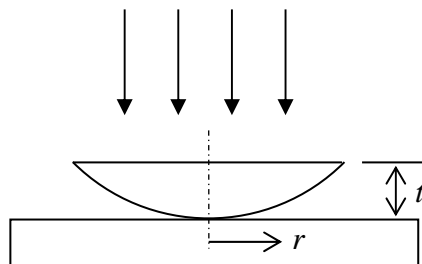


**Figure Q3[b]**  
*Rajah S3[b]*

(30 marks/markah)

- [c] **Figure Q3[c] shows a plano-convex lens placed on a flat surface and illuminated using sodium light ( $\lambda = 585 \text{ nm}$ ).**

*Rajah S3[c] menunjukkan kanta cembung-plano yang diletakkan di atas permukaan rata dan disinarkan dengan cahaya 'sodium' ( $\lambda = 585 \text{ nm}$ ).*



**Figure Q3[c]**  
*Rajah S3[c]*

- (i) Show that the distance of the  $n^{\text{th}}$  bright fringe from the center of the convex surface is given by

$$r = \sqrt{\left(n - \frac{1}{2}\right) R\lambda}$$

where  $R$  is the radius of curvature of the convex surface.

Given: Taylor's expansion for square root:

$$\sqrt{x^2 + a} \approx x + \frac{a}{2x}$$

Tunjukkan bahawa jarak pinggir cerah ke- $n$  dari pusat permukaan cembung diberikan oleh

$$r = \sqrt{\left(n - \frac{1}{2}\right) R\lambda}$$

di mana  $R$  ialah jejari kelengkungan permukaan cembung tersebut.

- (ii) If  $R = 100$  mm, estimate the thickness  $t$  of the lens if 20 bright fringes are observed.

Jika  $R = 100$  mm, anggarkan ketebalan  $t$  bagi kanta jika 20 pinggir cerah boleh dilihat.

(40 marks/markah)

- Q4. [a] State THREE (3) factors that determine the spacing between the fringes formed in the shadow moiré method.

Nyatakan TIGA (3) faktor yang menentukan jarak di antara pinggir-pinggir yang terbentuk dalam kaedah moiré bayangan.

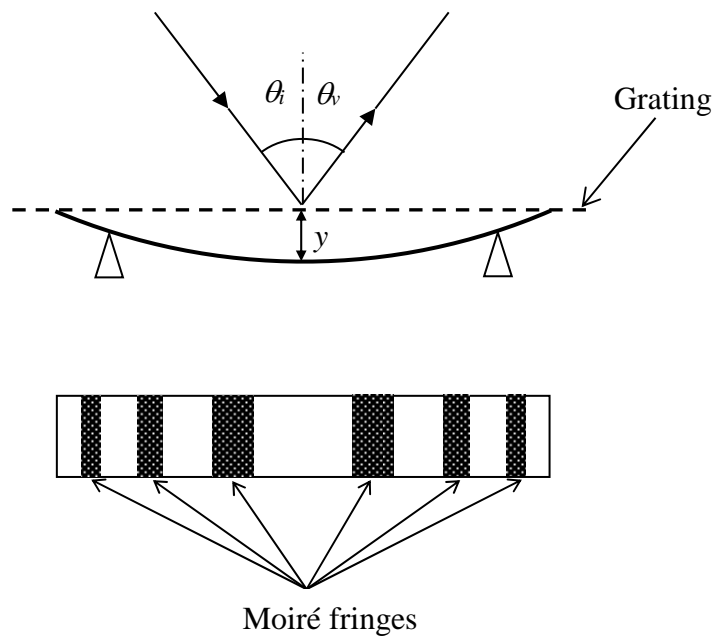
(10 marks/markah)

- [b] Figure Q4[b] shows a shadow moiré setup for measuring the profile of a simply supported beam as well as the fringes observed. The pitch of the grating is  $p = 0.5$  mm. The angles of illumination  $\theta_i$  and observation  $\theta_o$  are both equal to  $30^\circ$ . Assume that the grating is placed flat on the beam.

- (i) Based on the fringe pattern shown, estimate the maximum deflection  $y$  undergone by the beam.
- (ii) Determine the number of fringes formed when the maximum deflection is 2.5 mm.

Rajah S4[b] menunjukkan susunan moiré bayangan untuk mengukur profil rasuk disangga mudah termasuk pinggir-pinggir yang diperhatikan. Pic jeriji ialah  $p = 0.5 \text{ mm}$ . Sudut-sudut pencerahan  $\theta_i$  dan pemandangan  $\theta_v$  kedua-duanya adalah  $30^\circ$ . Andaikan bahawa jerji diletakkan mendatar pada rasuk.

- (i) Berasaskan corak pinggir yang ditunjukkan, anggarkan pesongan maksimum  $y$  yang dialami oleh rasuk tersebut.
- (ii) Tentukan bilangan pinggir yang terbentuk apabila pesongan maksimum ialah  $2.5 \text{ mm}$ .



**Figure Q4[b]**  
Rajah S4[b]

The following expression for the depth  $d$  of the  $n^{\text{th}}$  fringe in the shadow moiré method is given:

Ungkapan berikut bagi kedalaman  $d$  bagi pinggir ke- $n$  dalam kaedah moiré bayangan diberikan oleh:

$$d_n = \frac{np}{\tan \theta_i + \tan \theta_v}$$

(30 marks/markah)

- [c] The intensity distribution in a fringe pattern is given by the following expression:

$$I = I_A + I_B + \sqrt{I_A I_B} \cos \Delta\phi .$$

In order to determine the phase angle  $\Delta\phi$  the fringe pattern is shifted using the four-shift method.

- (i) Write down the expressions for the intensities of the four fringe patterns.  
 (ii) Hence, show that the phase angle  $\Delta\phi$  is given by

$$\Delta\phi = \tan^{-1} \frac{I_4 - I_2}{I_1 - I_3}$$

- (iii) If at a particular point the intensities in the four consecutive images obtained by the four-shift method are 122, 83, 160 and 230, determine the phase angle at that point within the range 0 to  $2\pi$ .

*Taburan keamatan dalam corak pinggir diberikan oleh ungkapan berikut:*

$$I = I_A + I_B + \sqrt{I_A I_B} \cos \Delta\phi .$$

*Untuk menentukan sudut fasa corak pinggir tersebut dianjurkan dengan menggunakan kaedah empat-anjakan.*

- (i) *Tuliskan ungkapan-ungkapan untuk keamatan bagi keempat-empat corak pinggir tersebut.*  
 (ii) *Seterusnya, tunjukkan bahawa sudut fasa  $\Delta\phi$  diberikan oleh*

$$\Delta\phi = \tan^{-1} \frac{I_4 - I_2}{I_1 - I_3}$$

- (iii) *Jika pada titik tertentu keamatan-keamatan di dalam empat imej berturutan yang didapati dengan kaedah empat-anjakan ialah 122, 83, 160 dan 230, tentukan sudut fasa  $\Delta\phi$  pada titik tersebut dalam julat 0 hingga  $2\pi$ .*

**(60 marks/markah)**

- Q5. [a] Explain the difference between surface texture and surface finish.**

*Terangkan perbezaan antara tekstur permukaan dan kemas permukaan.*

**(10 marks/markah)**

- [b] State FIVE (5) factors that influence the surface textures of a component.**

*Nyatakan LIMA (5) faktor yang mempengaruhi tekstur permukaan suatu komponen.*

**(15 marks/markah)**



- [c] Explain the difference between the following types of spacing parameters used in roughness measurement: Mean spacing of adjacent local peaks ( $S$ ) and mean spacing of profile irregularities ( $S_m$ ). Illustrate your answer with sketches.

*Terangkan perbezaan antara parameter-parameter ruang berikut yang digunakan dalam pengukuran kekasaran: Jarak purata puncak-puncak setempat bersebelahan ( $S$ ) dan jarak purata ketaksekatan profil ( $S_m$ ). Ilustrasi jawapan anda dengan lakaran.*

(15 marks/markah)

- [d] Figure Q5[d] shows the roughness profile of a casting where each grid represents  $1 \mu\text{m}$  in the vertical direction and  $10 \mu\text{m}$  in the horizontal direction. Draw the bearing area curve and determine the following parameters:

- (i) Reduced peak height  $R_{pk}$
- (ii) Core roughness depth  $R_k$
- (iii) Reduced valley depth  $R_{vk}$
- (iv) Peak material component (MR1)
- (v) Valley material component (MR2)

*Rajah S5[d] menunjukkan profil kekasaran hasil tuangan di mana setiap grid mewakili  $1 \mu\text{m}$  dalam arah menegak dan  $10 \mu\text{m}$  dalam arah mendatar. Lukis lengkung luas galas dan tentukan parameter-parameter berikut:*

- (i) Ketinggian puncak dikurangkan  $R_{pk}$
- (ii) Kedalaman kekasaran asas  $R_k$
- (iii) Kedalaman lurah dikurangkan  $R_{vk}$
- (iv) Komponen bahan puncak (MR1)
- (v) Komponen bahan lurah (MR2)

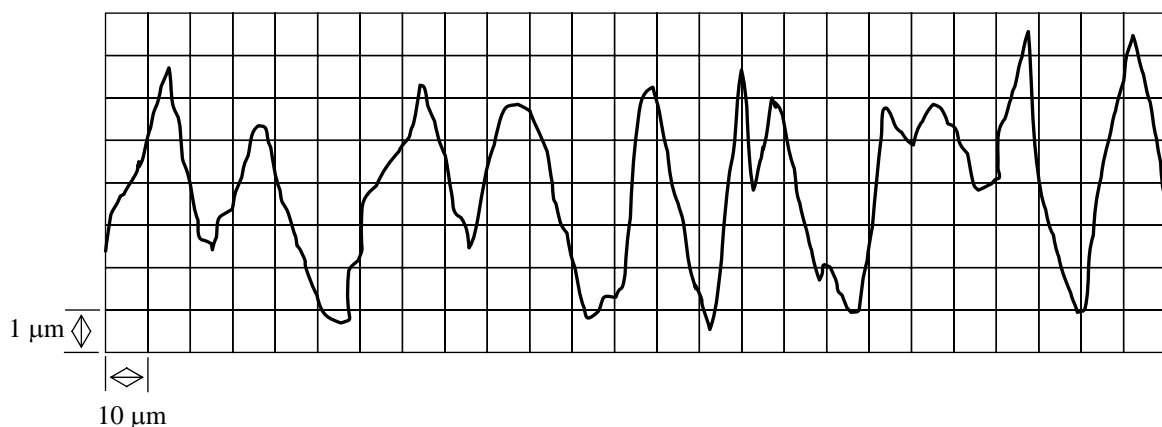


Figure Q5[d]  
Rajah S5[d]

(60 marks/markah)