



Second Semester Examination
Academic Session 2018/2019

June 2019

EPE482 – Optical and Surface Metrology
[Metrologi Optik dan Permukaan]

Duration : 3 hours
Masa : 3 jam

Please check that this examination paper consists of 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 FIVE [5]** questions.

ARAHAN : Jawab **SEMUA LIMA [5]** 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.]

...2/-

1. [a] State TWO (2) factors that can cause a phase difference between two interfering beams.

Nyatakan DUA(2) faktor yang boleh menyebabkan perbezaan fasa antara dua alur yang mengganggu.

(10 marks/markah)

- [b] A laser beam (wavelength, $\lambda = 632 \text{ nm}$) originating from a 10 mW He-Ne source was divided equally using a beam splitter. The two beams then recombine co-axially to form an interference fringe pattern. The original beam was expanded to a diameter of 20 mm before being divided by the beam splitter. One of the beams lags the other by a distance of 0.01 mm.

Suatu alur laser (jarak gelombang, $\lambda = 632 \text{ nm}$) yang berasal daripada punca He-Ne 10 mW dibahagi sama kepada dua alur dengan menggunakan pemecah alur. Kedua-dua alur tersebut kemudian bergabung secara paksi untuk membentuk corak pinggir gangguan. Alur asal tersebut dikembangkan kepada garis pusat 20 mm sebelum dibahagikan oleh pemecah alur. Salah satu alur menyusuli satu lagi dengan jarak 0.01 mm.

- (i) Determine the amplitude of oscillation of each beam.
Tentukan amplitud ayunan bagi setiap alur.
- (ii) Determine the phase difference between the interfering beams.
Tentukan perbezaan fasa di antara alur-alur yang mengganggu.
- (iii) Derive an expression for the irradiance of the combined waves. Hence, calculate the value of the irradiance at the point where the two beams interfere.

Terbitkan suatu ungkapan bagi kesinaran gabungan gelombang. Seterusnya, kirakan nilai kesinaran pada titik di mana kedua-dua alur berganggu.

The following formula is given:
Rumus berikut diberi:

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

(60 marks/markah)

...3/-

- [c] **With the aid of sketches, explain the difference between spatial coherence and temporal coherence.**

Dengan bantuan lakaran, terangkan perbezaan antara koherens ruang dan koherens masa.

(10 marks/markah)

- [d] **Give TWO (2) examples each of interferometers that are based on:**
Berikan DUA (2) contoh setiapnya bagi meter-meter gangguan yang berasaskan:

(i) **wavefront division and**
pembahagian hadapan gelombang dan

(ii) **amplitude division.**
pembahagian amplitud.

(20 marks/markah)

2. [a] **Sketch diagrams to show the basic difference between the following types of interferometers: (i) Michelson, (ii) Mirau and (iii) Linnik. State ONE (1) advantage and ONE (1) disadvantage of each type of interferometer.**

Lakarkan gambarajah untuk menunjukkan perbezaan asas di antara meter-meter gangguan berikut: (i) Michelson, (ii) Mirau dan (iii) Linnik. Nyatakan SATU (1) kelebihan dan SATU (1) kelemahan setiap jenis meter gangguan tersebut.

(40 marks/markah)

- [b] **A Michelson interferometer that uses an 8-bit CCD sensor was used to detect very small displacements at the reference mirror A as shown in Figure 2[b]. The length of the two arms (OA and OB) of the interferometer are initially equal and the He-Ne laser ($\lambda = 632 \text{ nm}$) beam was expanded before hitting the beam splitter.**

Sebuah meter gangguan Michelson yang menggunakan sensor CCD 8-bit telah digunakan untuk mengesan anjakan yang sangat kecil pada cermin rujukan A seperti ditunjukkan dalam Rajah 2[b]. Jarak panjang kedua-dua lengan (OA dan OB) meter gangguan pada awalnya adalah sama dan alur laser He-Ne ($\lambda = 632 \text{ nm}$) dikembangkan sebelum mengena pemecah alur.

- (i) **Determine the resolution of the system.**
Tentukan resolusi sistem tersebut.

...4/-

- (ii) The fringe pattern formed when the reference mirror A is tilted is shown in Figure 2[b](ii). Given that A is a square mirror of dimensions 20 mm by 20 mm, estimate the angle of tilt of the mirror.

Corak pinggir yang terbentuk apabila cermin rujukan A dicondongkan ditunjukkan dalam Rajah 2[b](ii). Diberikan bahawa A ialah cermin segiempat sama berdimensi 20 mm dan 20 mm, anggarkan sudut condongan cermin tersebut.

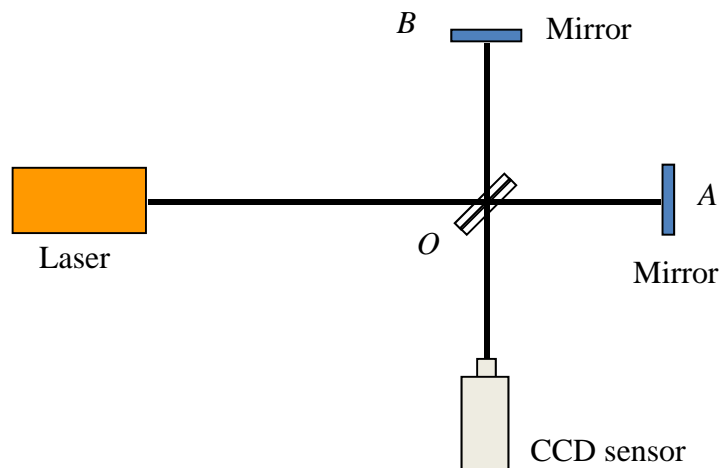


Figure 2[b]
Rajah 2[b]



Figure 2[b](ii)
Rajah 2[b](ii)

(30 marks/markah)

...5/-

- [c] Figure 2[c] shows the fringe pattern formed by a Fizeau interferometer when testing the surface of a component. Estimate the height of the surface at (i) point A and (ii) point B. Given that the interferometer uses He-Ne laser source ($\lambda = 632 \text{ nm}$).

Rajah 2[c] menunjukkan corak pinggir yang terbentuk oleh meter gangguan Fizeau apabila menguji permukaan sebuah komponen. Anggarkan ketinggian permukaan tersebut pada (i) titik A dan (ii) titik B. Diberikan bahawa meter gangguan tersebut menggunakan punca laser He-Ne ($\lambda = 632 \text{ nm}$).

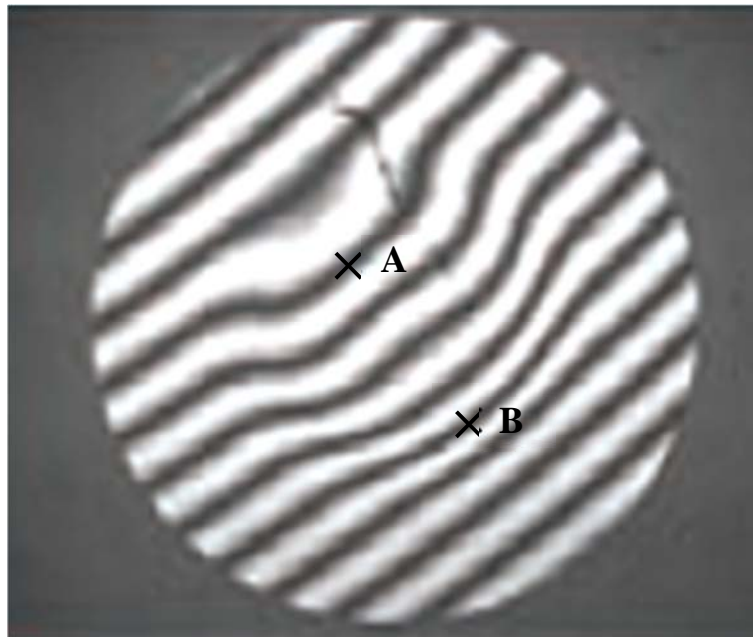


Figure 2[c]
Rajah 2[c]

(30 marks/markah)

3. [a] State any FIVE (5) differences between a white-light interferometer and a phase-shifting interferometer.

Nyatakan mana-mana LIMA (5) perbezaan antara meter gangguan cahaya-putih dan meter gangguan anjakan-fasa.

(30 marks/markah)

...6/-

- [b] Figure 3[c] shows the fringe patterns and phase map formed in a four-step phase-shifting interferometer using He-Ne laser ($\lambda = 632$ nm) as the light source. The pixel values in the 8-bit images at the point A are given in Table 3[c]. Determine the wrapped and unwrapped phase angle at this location. Hence, determine the height of point A. The phase difference $\Delta\phi$ for a four-shift method is given by

Rajah 3[c] menunjukkan corak pinggir dan peta fasa yang terbentuk dalam meter gangguan anjakan-fasa yang menggunakan laser He-Ne ($\lambda = 632$ nm) sebagai punca cahaya. Nilai-nilai piksel dalam imej-imej 8-bit tersebut pada titik A diberikan dalam Jadual 3[c]. Tentukan sudut fasa terbalut dan tak-terbalut pada lokasi ini. Seterusnya, tentukan ketinggian titik A. Perbezaan fasa $\Delta\phi$ dalam kaedah empat-anjakan diberikan oleh

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

Table 3[c]
Jadual 3[c]

Shift amount Jumlah anjakan	0	$\pi/2$	π	$3\pi/4$
Pixel value at A Nilai piksel di A	240	200	152	86

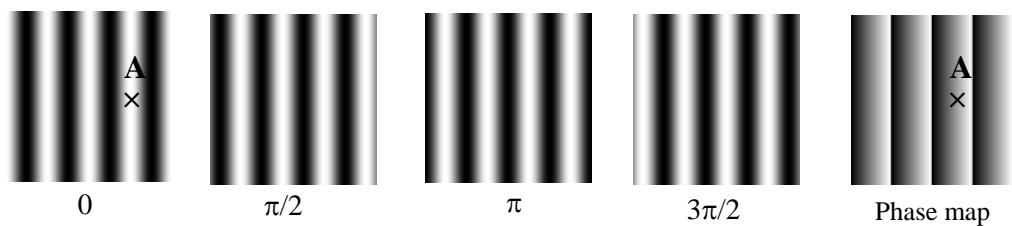


Figure 3[c]
Rajah 3[c]

(40 marks/markah)

...7/-

- [c] Figure 3[d] shows the moiré pattern formed on a surface of an object using a grating of 200 lines/mm in a shadow moiré experiment. The lighting direction used was 45° while the camera direction was normal to the grating. Estimate the height difference between (i) point A and point B, (ii) point B and point C, as shown in the figure.

Rajah 3[d] menunjukkan corak moiré yang terbentuk pada permukaan objek dengan menggunakan jeriji 200 garisan/mm dalam suatu eksperimen moiré bayangan. Arah pencahayaan yang digunakan ialah 45° manakala arah kamera berserenjang dengan jeriji. Anggarkan perbezaan ketinggian di antara (i) titik A dengan titik B, (ii) titik B dengan titik C, seperti ditunjukkan dalam rajah tersebut.

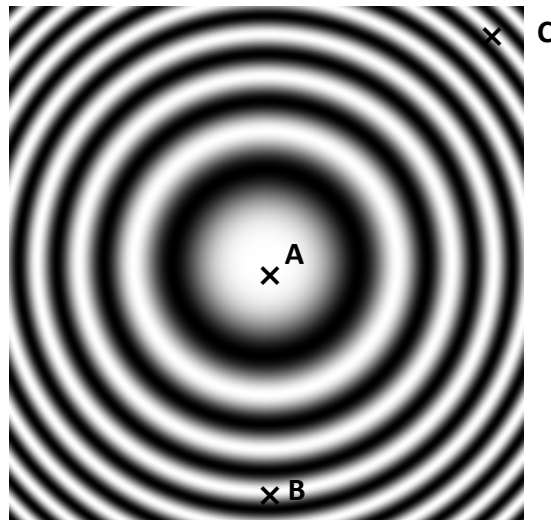


Figure 3[d]
Rajah 3[d]

(30 marks/markah)

4. [a] Briefly discuss any THREE (3) considerations to be taken in a surface roughness design for a typical engineering part fabrication.

Bincangkan secara ringkas sebarang TIGA (3) pertimbangan yang akan diambil dalam reka bentuk kekasaran permukaan untuk fabrikasi komponen kejuruteraan biasa.

(25 marks/markah)

...8/-

- [b] With the aid of sketches, explain the difference between the two roughness parameters: skewness and kurtosis. Hence provide a justification on which of these parameters is suitable to describe the lubricant retention capability on a machined surface.

Dengan bantuan lakaran-lakaran, jelaskan perbezaan antara dua parameter kekasaran: 'skewness' dan 'kurtosis'. Seterusnya, berikan justifikasi bahawa mana-mana parameter ini sesuai untuk menggambarkan keupayaan pengekal pelincir pada permukaan mesin.

(25 marks/markah)

- [c] Figure 4[c] shows the profile of a machined surface. Each vertical grid spacing represents $0.1 \mu\text{m}$ while each horizontal grid spacing represents $50 \mu\text{m}$.

Rajah 4[c] menunjukkan profil permukaan yang dimesin. Jarak menegak setiap grid ialah $0.1 \mu\text{m}$ manakala jarak mendatar setiap grid ialah $50 \mu\text{m}$.

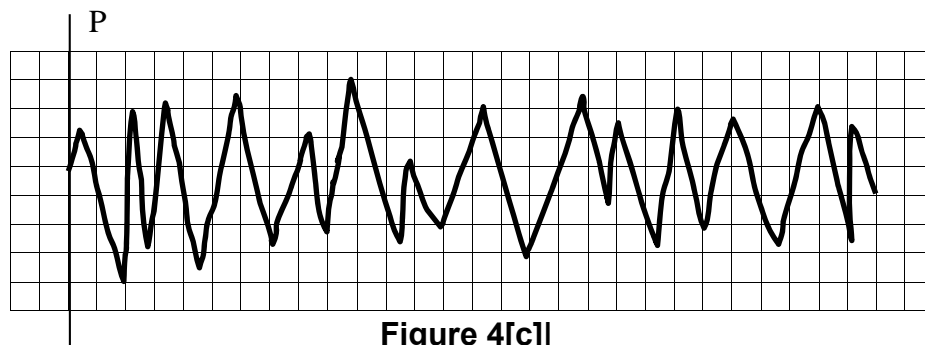


Figure 4[c]
Rajah 4[c]

- (i) Determine a suitable sampling length for the roughness evaluation based on the information given in Table 4[c](i)

Tentukan panjang persampelan yang sesuai untuk menilai kekasaran berdasarkan maklumat yang diberikan dalam Jadual 4[c](i)

...9/-

Table 4[c](i)
Jadual 4[c](i)

$R_a \text{ min}$	$R_a \text{ max}$	λ_c	Profile length
-	0.02 μm	80 μm	0.40 mm
0.02 μm	0.10 μm	250 μm	1.25 mm
0.10 μm	2.00 μm	800 μm	4.00 mm
2.00 μm	10.00 μm	2500 μm	12.50 mm
10.00 μm	80.00 μm	8000 μm	40.00 mm

- (ii) Determine the following parameters for the surface: R_a , R_q , R_z , $R_{z(JIS)}$ and S_m . Take the point 'P' as the first point in your evaluation.

Tentukan parameter berikut untuk permukaan: R_a , R_q , $R_{z(ISO)}$, $R_{z(JIS)}$ and S_m . Ambil titik 'P' sebagai titik pertama dalam penilaian anda.

(50 marks/markah)

5. [a] Figure 5[a] shows the roughness profile of a casting where each grid represents 1 μm in the vertical direction and 10 μm in the horizontal direction. Draw the bearing area curve and determine the following parameters:

Rajah 5[a] menunjukkan profil kekasaran hasil tuangan di mana setiap grid mewakili 1 μm dalam arah menegak dan 10 μm dalam arah mendatar. Lukis lengkung luas galas dan tentukan parameter-parameter berikut:

- (i) **Reduced peak height R_{pk}**
Ketinggian puncak dikurangkan R_{pk}
- (ii) **Core roughness depth R_k**
Kedalaman kekasaran teras R_k
- (iii) **Reduced valley depth R_{vk}**
Kedalaman lurah dikurangkan R_{vk}
- (iv) **Peak material component (MR1)**
Komponen bahan puncak (MR1)
- (v) **Valley material component (MR2)**
Komponen bahan lurah (MR2)

...10/-

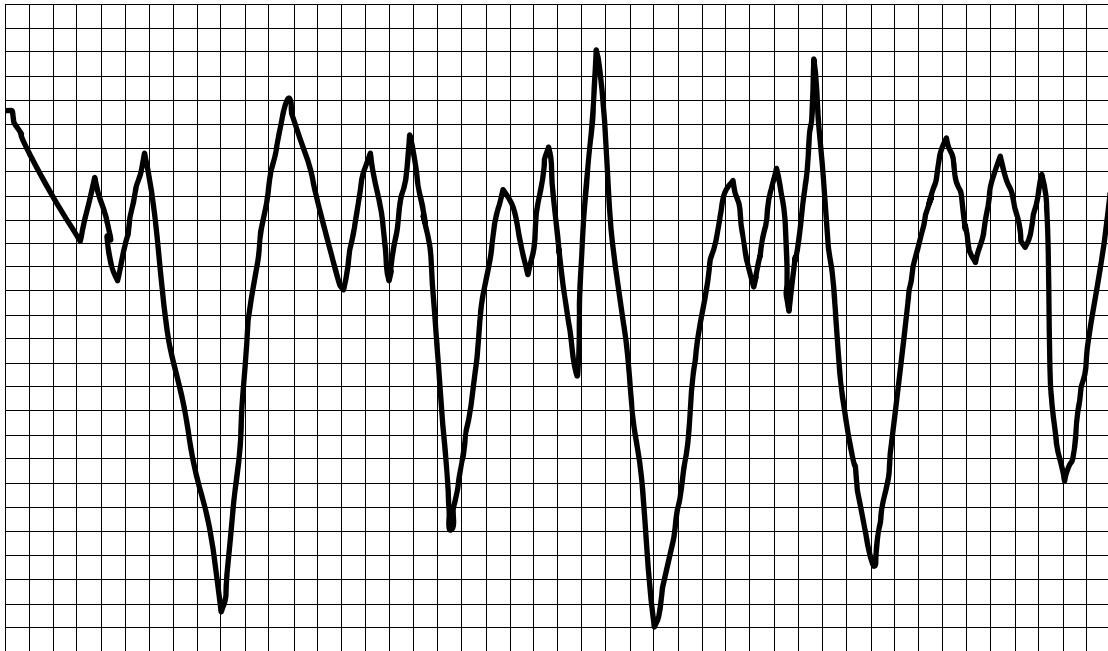


Figure 5[a]
Rajah 5[a]

(50 marks/markah)

- [b] Briefly discuss TWO (2) advantages of surface roughness analysis by Fourier analysis over conventional surface roughness parameters in characterizing a machined surface.**

Bincangkan secara ringkas DUA (2) kelebihan analisis kekasaran permukaan dengan analisis Fourier terhadap parameter kekasaran permukaan konvensional dalam mencirikan permukaan mesin.

(12 marks/markah)

- [c] With a suitable sketch, briefly describe the identification of periodic distortion roughness and random roughness from a spectrum of surface roughness. Hence provide ONE (1) cause for each occurrence.**

Dengan lakaran yang sesuai, terangkan secara ringkas penentuan kekasaran penyimpangan berkala dan kekasaran rawak daripada satu spektrum kekasaran permukaan. Seterusnya cadangkan SATU (1) sebab bagi setiap kejadian.

(38 marks/markah)

- oooOooo -