

**SULIT**

---



Second Semester Examination  
2018/2019 Academic Session

June 2019

**EEE355 – ROBOTICS & AUTOMATION**  
**(Robot & Pengautomatan)**

Duration : 3 hours  
(Masa : 3 jam)

---

Please check that this examination paper consists of TWELVE (12) pages of printed material and ONE (1) page appendix before you begin the examination.

*[Sila pastikan bahawa kertas peperiksaan ini mengandungi DUA BELAS (12) muka surat yang bercetak dan SATU (1) muka surat lampiran sebelum anda memulakan peperiksaan ini.]*

**Instructions:** Answer **FOUR (4)** questions. **Section A is COMPULSORY.** Answer **ONE (1)** questions from Section B. All questions carry the same marks.

**[Arahan:** Jawab **EMPAT (4)** soalan. **Bahagian A WAJIB dijawab.** Jawab **SATU (1)** soalan daripada Bahagian B. Semua soalan membawa jumlah markah yang sama.]

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

*[Sekiranya terdapat sebarang percanggahan pada soalan peperiksaan, versi Bahasa Inggeris hendaklah digunapakai.]*

...2/-

**SULIT**

**SECTION A**  
**BAHAGIAN A**

1. Figure 1 shows a schematic of a SCARA robot consisting of 3 revolute joints and one prismatic joint.

*Rajah 1 memaparkan lukisan skematik untuk robot SCARA yang terdiri daripada 3 sendi revolut dan satu sendi prismatic.*

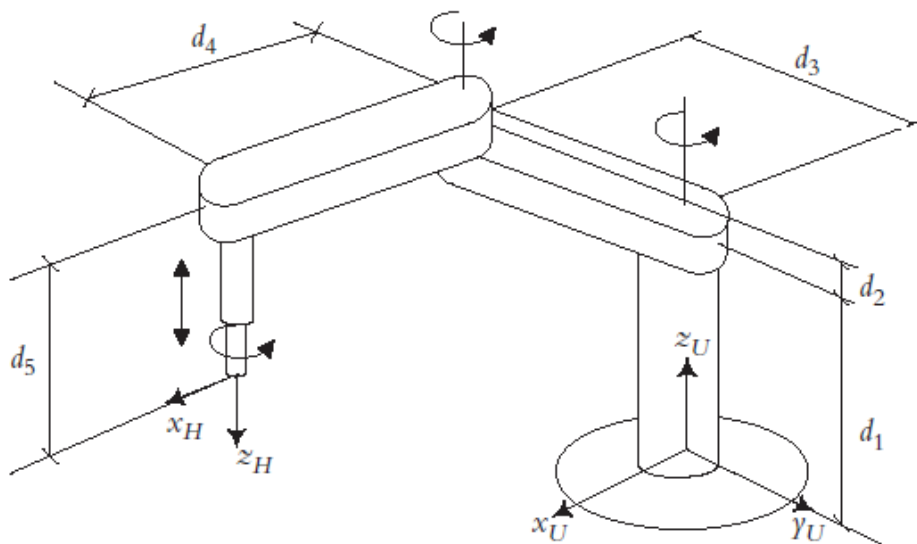


Figure 1  
Rajah 1

Based on the robot shown in Figure 1, answer the following questions:

*Merujuk kepada robot dalam Rajah 1, jawab soalan-soalan berikut:*

- (a) Draw an approximate shape of the workspace for the robot showing the dimensions as labelled in the diagram.

*Lukis anggaran rupa bentuk ruang-kerja untuk robot tersebut dengan menunjukkan dimensi-dimensi seperti yang dilabelkan di gambarajah.*

(10 marks/markah)

- (b) Draw a simplified schematic diagram (skeleton) for the robot showing all the joints and links. With the help of the simplified diagram, attach coordinate frames to each joint according to Denavit-Hartenberg representation.

*Lukiskan gambarajah skematik ringkas (rangka) untuk robot tersebut dengan menunjukkan semua sendi dan penyambung. Dengan bantuan gambarajah ringkas tersebut, letakkan kerangka koordinat di setiap sendi berdasarkan gambaran Denavit-Hartenberg*

(30 marks/markah)

- (c) Draw and fill in a D-H parameter table with appropriate parameters starting from the base frame until the hand frame.

*Lukis dan isikan jadual parameter D-H dengan parameter yang sesuai bermula dari kerangka dasar sehingga ke kerangka tangan.*

(20 marks/markah)

- (d) Based on the D-H parameter table write all the  $A$  matrices for the robot

*Berdasarkan kepada jadual parameter D-H tersebut, tuliskan kesemua matrik  $A$  bagi robot tersebut*

(20 marks/markah)

- (e) Find the  ${}^U T_H$

*Dapatkan  ${}^U T_H$*

(20 marks/markah)

2. A camera is attached to the hand frame  $T$  of a robot as given by the matrices below. The corresponding inverse Jacobian of the robot at this location is also given. The robot makes a differential motion, as a result of which, the change in the frame  $dT$  is recorded as given.

*Sebuah kamera telah dilekatkan di kerangka tangan  $T$  sebuah robot seperti yang diberikan oleh matrik di bawah. Jacobian songsang yang berkenaan untuk kedudukan ini pada robot tersebut juga diberikan. Robot tersebut membuat pergerakan kecil, yang mana dengan pergerakan tersebut, perubahan kepada kerangka  $dT$  telah direkodkan seperti yang diberikan*

$$T = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 3 \\ 1 & 0 & 0 & 2 \\ 0 & 0 & -1 & 8 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad J^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -0.2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$dT = \begin{bmatrix} -0.03 & 0 & -0.1 & 0.79 \\ 0 & 0.03 & 0 & 0.09 \\ 0 & -0.1 & 0 & -0.4 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

- (a) Find the new location of the camera after the differential motion.

*Dapatkan lokasi yang baru untuk kamera tersebut hasil selepas pergerakan kecil tersebut.*

(20 marks/markah)

- (b) Find the differential operator.

*Dapatkan operator differential.*

(20 marks/markah)

- (c) Find the joint differential motion values associated with this move.

*Dapatkan nilai-nilai gerakan kecil sendi yang berkaitan dengan pergerakan ini.*

(20 marks/markah)

...5/-

- (d) Find how much the differential motions of the hand frame ( ${}^T D$ ) should have been instead, if measured relative to frame  $T$ , to move the robot to the same new location as in part (a).

*Cari nilai pergerakan kecil kerangka tangan ( ${}^T D$ ) yang sepatutnya, jika diukur nisbah kepada kerangka  $T$ , untuk menggerakkan robot kepada kedudukan baru yang sama di bahagian (a)*

(40 marks/markah)

3. (a) Path and trajectory are two important elements in planning the motion of a robot. Explain the definition of the terms **path** and **trajectory**. State the difference between the two terms.

*Laluan dan trajektori merupakan dua unsur penting dalam merancang pergerakan robot. Terangkan definisi bagi terma **laluan** dan **trajektori**. Nyatakan perbezaan di antara kedua-dua terma tersebut.*

(20 marks/markah)

- (b) Motion planning of a robot can be done in either Joint space or Cartesian space. Explain the advantage and disadvantage of both approaches.

*Perancangan pergerakan robot boleh dibuat di dalam sama ada ruang sendi atau ruang Kartesian. Terangkan kebaikan dan kelemahan kedua-dua pendekatan tersebut.*

(30 marks/markah)

- (c) A robot is to be driven from an initial position through two via points before it reaches its final destination using a 4-3-4 trajectory. The positions, velocities, and time duration for the three segments for one of the joints are given below.

*Sebuah robot perlu digerakkan daripada kedudukan asal melalui dua titik lalu sebelum tiba ke destinasi akhir dengan menggunakan trajektori 4-3-4. Kedudukan, halaju, dan tempoh masa untuk ketiga-tiga segmen untuk salah satu daripada sendi robot adalah seperti yang diberikan di bawah.*

$$\begin{array}{llll} \theta_1 = 20^\circ & \dot{\theta}_1 = 0 & \ddot{\theta}_1 = 0 & \tau_{1i} = 0 \quad \tau_{1f} = 1 \\ \theta_2 = 60^\circ & \tau_{2i} = 0 & \tau_{2f} = 2 & \\ \theta_3 = 100^\circ & \tau_{3i} = 0 & \tau_{3f} = 1 & \\ \theta_4 = 40^\circ & \dot{\theta}_4 = 0 & \ddot{\theta}_4 = 0 & \end{array}$$

Unit for  $\tau = s$ ,  $\dot{\theta} = \theta/s$ ,  $\ddot{\theta} = \theta/s^2$

- (i) Determine the trajectory equations

*Tentukan persamaan-persamaan trajektori.*

(30 marks/markah)

- (ii) Sketch the position, velocity, and acceleration curves for the joint.

*Plotkan garisan lengkungan kedudukan, halaju, dan pecutan untuk sendi tersebut.*

(20 marks/markah)

4. (a) One of the nominal characteristics of actuator is the power-to-weight ratio. Describe this characteristic and give an example of an actuator with high power to weight ratio. Explain your answer.

*Salah satu daripada ciri-ciri nominal penggerak adalah nisbah kuasa kepada berat. Terangkan ciri ini dan berikan satu contoh penggerak dengan nisbah kuasa kepada pemberat yang tinggi. Terangkan jawapan anda.*

(20 marks/markah)

...7/-

-7-

- (b) Explain the method of analysis do you use when selecting suitable actuators for your robot joints.

*Terangkan kaedah analisa yang anda gunakan untuk memilih penggerak yang bersesuaian untuk sendi-sendi robot.*

(20 marks/markah)

- (c) Robotic arm finds application in various sectors including manufacturing, agricultural, and medical. Figure 2 shows a robotic system used in operating theatre to perform surgery. The surgeon operating the robot might be in different location. The design of the surgical robot needs to fulfil certain strict requirements to qualify the robot to work in an operating theatre.

*Lengan robotik mempunyai kegunaan dalam pelbagai sektor termasuk industri pengeluaran, pertanian, dan perubatan. Gambarajah 2 menunjukkan sistem robotik yang digunakan di bilik bedah untuk melakukan pembedahan. Pakar bedah yang mengendalikan robot tersebut boleh berada di lokasi berasingan. Rekabentuk robot pembedahan ini perlu memenuhi beberapa syarat-syarat yang ketat untuk melayakkannya digunakan di dewan bedah.*



Figure 2  
Rajah 2

Based on the Figure 2 above, answer the following questions:

*Berdasarkan Rajah 2 di atas, jawab soalan-soalan berikut:*

...8/-

- (i) What type of actuators are the most suitable for this type of robot. Give reasons for your answer.

*Apakah jenis penggerak yang sesuai untuk robot jenis ini. Nyatakan alasan untuk jawapan anda.*

*(30 marks/markah)*

- (ii) Apart from actuators, the surgical robot needs many types of sensors to perform surgery. List all possible type of sensors required and explain how each sensors plays the role in this particular task.

*Selain daripada penggerak, robot pembedahan tersebut memerlukan berbagai jenis penderia untuk melakukan pembedahan. Senaraikan semua jenis penderia yang diperlukan dan terangkan bagaimana setiap jenis penderia tersebut memainkan peranan di dalam aktiviti ini.*

*(30 marks/markah)*



**SECTION B  
BAHAGIAN B**

5. Figure 3 shows the process of product sorting process. There are two types of product box available on the conveyor. The object in darker colour is made by aluminium while object in lighter colour is made of glass. The darker object is required to be diverted to conveyor 2 by actuating the barrier which is controlled by a solenoid. The lighter products are transferred on the conveyor 1. The products are randomly placed on the conveyor. Sensor  $S_0$  is used to sense the presence of product on the conveyor.

*Rajah 3 menunjukkan proses pembungkusan produk. Produk dipindahkan pada penghantar. Objek berwarna lebih gelap diperbuat daripada aluminium dan objek berwarna lebih cerah diperbuat daripada gelas. Produk yang lebih gelap dihantar ke penghantar 2 oleh satu palang yang dikawal dengan solenoid. Produk berwarna lebih cerah dihantar ke penghantar 1. Produk dihantar secara rawak di atas penghantar. Penderia  $S_0$  mengesan kehadiran produk di atas penghantar.*

- (a) Suggest an additional sensor with justification to sort the two objects.

*Cadangkan satu jenis penderia tambahan dengan justifikasi yang boleh digunakan untuk mengasingkan objek*

(20 marks/markah)

- (b) Suggest two extra sensors to count the object on both conveyors respectively.

*Cadangkan dua jenis penderia yang boleh digunakan untuk mengira objek di atas kedua-dua penghantar.*

(20 marks/markah)

- (c) The sorting process is controlled with programmable logic controller. When the darker products and lighter products reach 24 each respectively, the sorting process stop. Design the ladder diagram with a sketch of the location of all sensors used.

*Proses menyusun dikawal oleh pengawal logic boleh aturcara. Apabila bilangan produk gelap dan cerah masing masing telah mencapai 24, proses menyusun berhenti. Rekabentuk gambarajah tangga dengan satu lakaran lokasi semua penderia yang digunakan.*

...10/-

You can add additional input devices with description and state all assumption made.

*Anda boleh menggunakan peranti input tambahan dengan deskripsi yang jelas dan nyatakan semua andaian yang dibuat.*

(60 marks/markah)

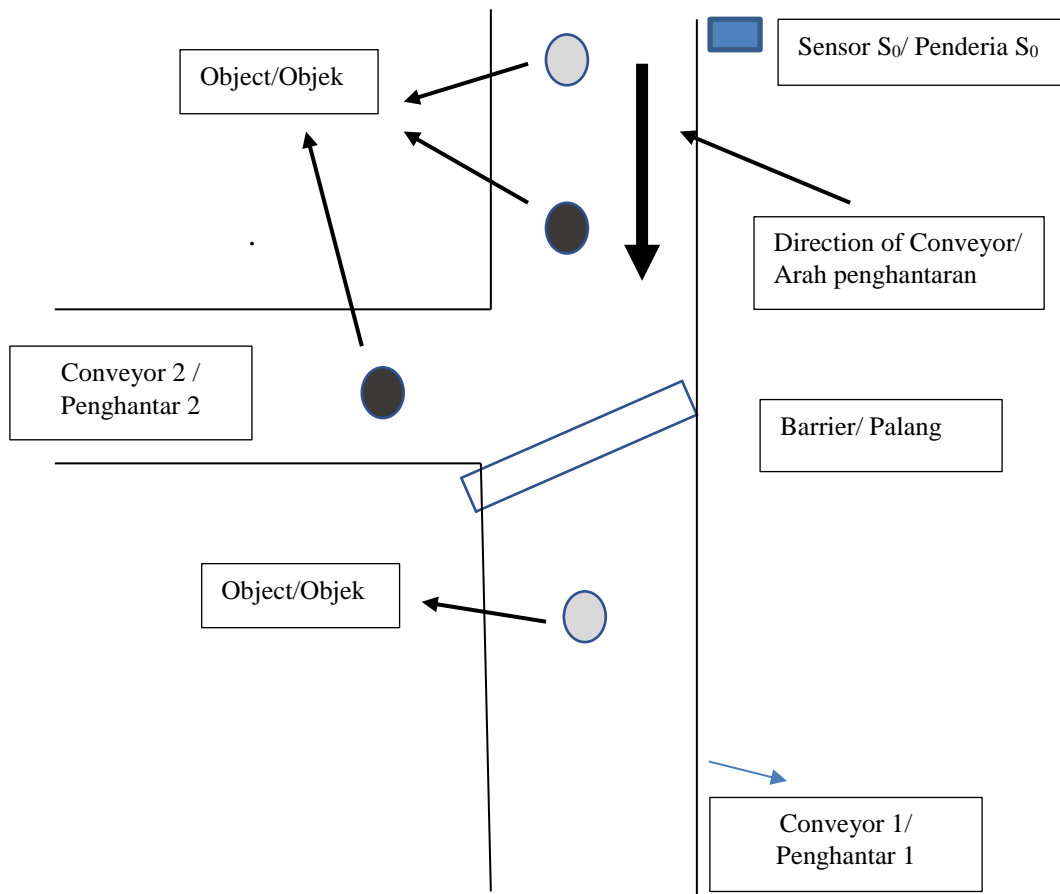


Figure 3  
Rajah 3

6. (a) Design a ladder diagram for a pumping system where the pump requires a 5-second delay before pumping; when the pump is shut off, it requires a 15-second delay before it can be restarted. Start and stop switches are Normally-open momentary contact push button. Design the ladder diagram. (Using timer type from OMRON PLC.)

*Rekabentuk satu gambarajah tangga untuk satu sistem pam dimana pam tersebut memerlukan 5 saat lengah sebelum proses mengepam; apabila pam dihentikan, ia memerlukan 15s lengah sebelum ia boleh dimulakan. Suis mula dan henti adalah jenis suis butang sentuhan hubungan sementara. (Gunakan pemasa jenis OMRON PLC.)*

(50 marks/markah)

- (b) Design a ladder diagram to control the ejector in the conveyor system shown in Figure 4. The parts are travelling along the conveyor, sensor S1 is used to detect the part and the ejector will push the parts to the assembly area 1. Only 4 parts is to be pushed to assembly area 1. If the parts reach 4, the ejector will pass the parts, until the parts on the conveyor 2 are less than 4. Sensor S2 is to detect the parts leaving the place.

*Rekabentuk gambarajah tangga untuk mengawal pelopor dalam sistem penghantar yang ditunjukkan dalam Rajah 4. Produk dihantar di sepanjang penghantar, penderia S1 digunakan untuk mengesan produk dan pelopor akan menolak produk ke kawasan pemasangan 1. Hanya 4 produk yang akan ditolak ke kawasan pemasangan 1. Jika 4 produk telah dihantar ke kawasan pemansangan 1, pelopor akan membenarkan produk melalui penghantar ke bahagian lain sehingga produk pada penghantar 2 kurang daripada 4. Penderia S2 adalah digunakan untuk mengesan produk yang meninggalkan tempat pemasangan 1.*

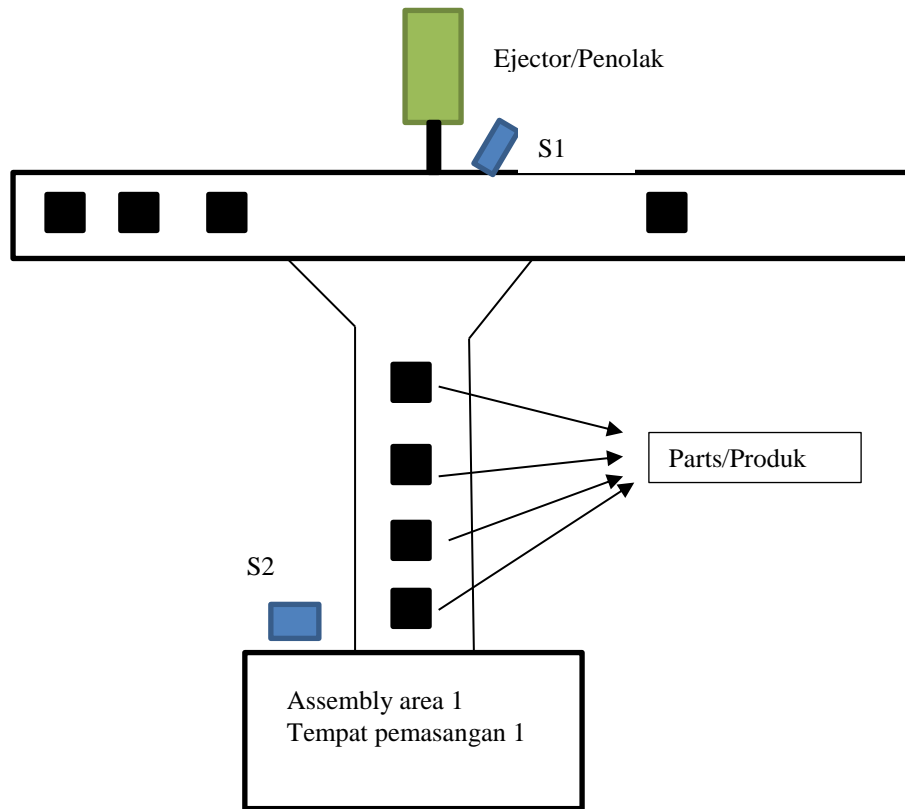


Figure 4  
Rajah 4

(50 marks/markah)

-oooOooo-

APPENDIXLAMPIRAN

$$\text{Rot}(x, \theta) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & C\theta & -S\theta & 0 \\ 0 & S\theta & C\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{Rot}(y, \theta) = \begin{bmatrix} C\theta & 0 & S\theta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -S\theta & 0 & C\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\text{Rot}(z, \theta) = \begin{bmatrix} C\theta & -S\theta & 0 & 0 \\ S\theta & C\theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_{n+1} = \begin{bmatrix} C\theta_{n+1} & -S\theta_{n+1} C\alpha_{n+1} & S\theta_{n+1} S\alpha_{n+1} & a_{n+1} C\theta_{n+1} \\ S\theta_{n+1} & C\theta_{n+1} C\alpha_{n+1} & -C\theta_{n+1} S\alpha_{n+1} & a_{n+1} S\theta_{n+1} \\ 0 & S\alpha_{n+1} & C\alpha_{n+1} & d_{n+1} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$