

**SULIT**

---



Second Semester Examination  
2017/2018 Academic Session

May / June 2018

**EEM 343 – ROBOTICS**  
***[ROBOTIK]***

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

---

Please ensure that this examination paper consists of **TEN (10)** pages and **ONE (1)** page of printed appendices material before you begin the examination.

*[Sila pastikan bahawa kertas peperiksaan ini mengandungi **SEPULUH (10)** muka surat dan **SATU (1)** muka surat lampiran yang bercetak sebelum anda memulakan peperiksaan ini.]*

**Instructions:** This question paper consists of **FOUR (4)** questions. Answer **ALL** questions. All questions carry the same marks.

***[Arahan:*** Kertas soalan ini mengandungi **EMPAT (4)** soalan. Jawab **SEMUA** soalan. 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 digunakan.]*

**You are not allowed to take this question paper out of the examination hall.**  
***Anda tidak dibenarkan membawa kertas soalan ini keluar daripada dewan peperiksaan.***

...2/-  
**SULIT**

1. Figure 1 shows a schematic 3R planar robot which has 3 revolute joints, used to represent 1 fully actuated robot finger.

*Rajah 1 mempamerkan robot planar 3R yang mempunyai sendi revolusi mewakili sebuah jari robot berpacu penuh.*

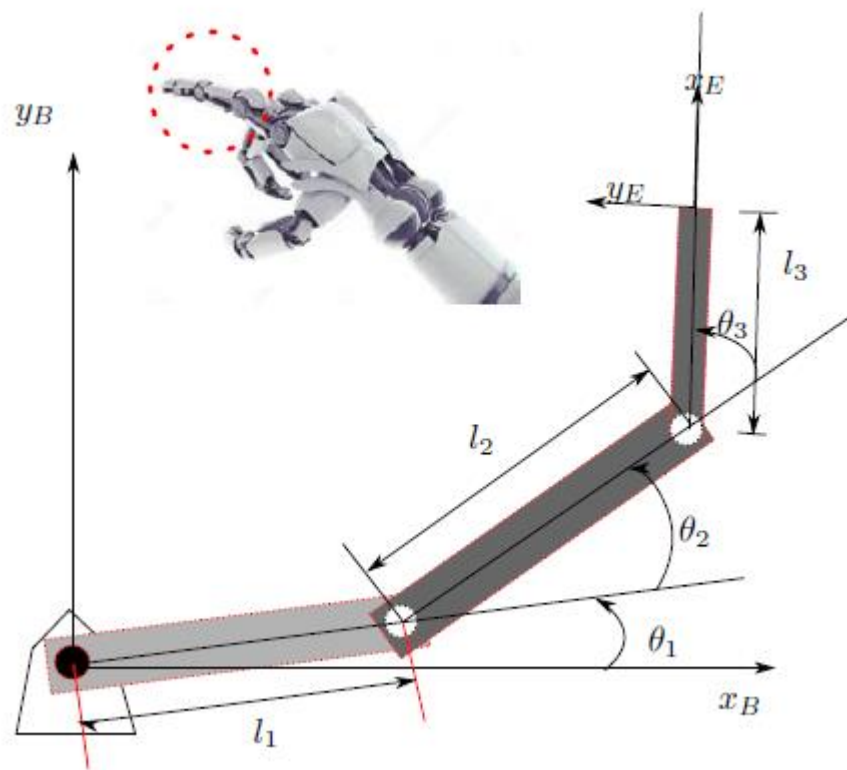


Figure 1: A fully actuated robot finger is modeled as a 3 revolute planar robot manipulator

*Rajah 1: Sebuah jari robot berpacu penuh telah dimodelkan sebagai 3 pengolah robot bersatah*

- (a) Analyse the kinematics of the robot finger shown in Figure 1 by the following steps:

*Lakukan analisa terhadap kinematik jari robot yang ditunjukkan dalam Rajah 1 melalui langkah-langkah berikut:*

- (i) Draw the equivalent schematic (skeleton) diagram showing the revolute joints to analyse its kinematic configuration.

*Lukiskan gambarajah skematik sepunya yang mempamerkan sendi revolusi bagi menganalisa konfigurasi kinematik.*

(10 marks/markah)

- (ii) With the aid of diagram (to be drawn), analyse the link configuration by obtaining the D-H parameters for the 1 robot finger. (Show your coordinate frame and base frame)

*Dengan bantuan gambarajah (untuk dilukiskan), lakukan analisa konfigurasi lengan dengan memperoleh parameter D-H untuk sebuah jari robot. (Tunjukkan bingkai koordinat dan bingkai tapak)*

(20 marks/markah)

- (iii) Extract the coordinate of the tip point of the robot finger in the base Cartesian coordinate frame.

*Saringkan titik koordinat jari robot dalam bingkai koordinat Cartesian tapak.*

(40 marks/markah)

- (b) Jacobian is an important information when analysing the differential motions in a robot. Determine the Jacobian of the robot finger using any of analytical methods you have learnt.

*Jakobian adalah suatu maklumat yang penting dalam menganalisa pergerakan kebezaan dalam sebuah robot. Tentukan Jakobian jari robot menggunakan kaedah analitikal yang telah dipelajari.*

(20 marks/markah)

- (c) If the robot finger is stretched horizontally and stays parallel to the  $x_B$  axis, what does information in transformation matrix  ${}^B T_E$ , element (1,4) tells you?

*Sekiranya jari robot telah diluruskan secara mendatar dan berada selari dengan paksi  $x_B$ , apakah maklumat yang diperoleh melalui elemen (1,4) dalam matrik pengubah  ${}^B T_E$ .*

(10 marks/markah)

2. (a) Define the following robotics terminologies:

*Jelaskan terminology robotic berikut:*

- (i) Jacobian  
*Jakobian*
- (ii) Homogenous transformation matrix  
*Matrik transformasi seragam*
- (iii) Frame  
*Bingkai*
- (iv) Inverse kinematics  
*Kinematik songsang*

(20 marks/markah)

- (b) The kinematics of a 3R robot are given by  
*Kinematik robot 3R diberi seperti berikut,*

$${}^0T_3 = \begin{bmatrix} c_1 c_{23} & -c_1 s_{23} & s_1 & l_1 c_1 + l_2 c_1 c_2 \\ s_1 c_{23} & -s_1 s_{23} & -c_1 & l_1 s_1 + l_2 s_1 c_2 \\ s_{23} & c_{23} & 0 & l_2 s_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Analyse the transformation matrix above to find the Jacobian matrix  ${}^0J_3(\Theta)$ , in which, when multiplied by the joint velocity vector gives the linear velocity of the origin frame {3} relative to frame {0}.

*Analiskan matrik penjelmaan di atas untuk mencari matrik Jakobian  ${}^0J_3(\Theta)$  iaitu, apabila ia didarabkan dengan vector halaju sendi, ia menghasilkan halaju linear bingkai asalan {3} relatif kepada bingkai {0}.*

(30 marks/markah)

- (c) Figure 2 shows a 2R robot manipulator mounted on a ceiling. Ceiling mounting is an applied method in some robotic operated assembly line.

*Rajah 2 mempamerkan pengubah robot 2R yang telah dipasang pada siling. Pemasangan pada siling adalah kaedah yang diaplikasi dalam pemasangan operasi.*

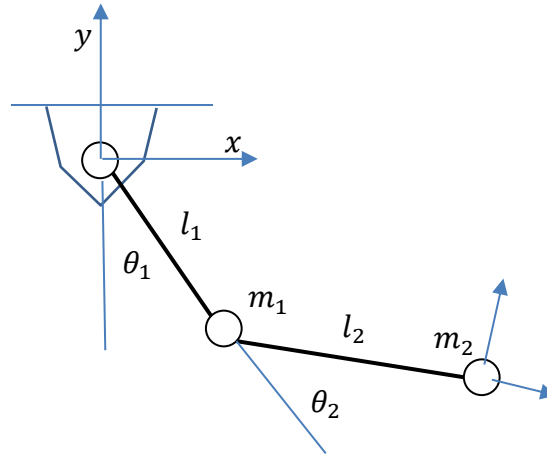


Figure 2 : 2R robot manipulator on the ceiling  
*Rajah 2 : Pengubah robot 2R pada siling.*

- (i) Derive the dynamic equation of the given robot manipulator using Lagrangean technique.

*Terbitkan persamaan dinamik bagi pengubah robot yang diberi menggunakan teknik Lagrangean.*

(50 marks/markah)

3. (a) (i) Define the following terms from the sensing and performance perspective of an industrial and robotic arm; accuracy, resolution, repeatability and compliance.

*Berikan definisi terma-terma berikut daripada perspektif pengukuran Dan prestasi sebuah lengan robot industri; ketepatan, resolusi, kebolehulangan dan pematuhan.*

(15 marks/markah)

...7/-

**SULIT**

- (ii) Describe **THREE** types of sensors commonly utilised to measure internal and external parameters for an industrial robotic arm.

*Huraikan **TIGA** jenis penderia yang biasa digunakan untuk mengukur parameter-parameter dalaman dan luaran bagi sebuah lengan robot industri.*

(15 marks/markah)

- (b) Figure 3 shows the use of a robotic system to build a house suitable for practical human living. The robotic system utilised the principles of 3D printing system where the material used to build the walls and structures are placed layer by layer. The design of the house is segmented into various subsections and passed to the robot controllers for actual layer positioning and material ejection. Describe the possible issues to construct such a robotic system for such a purpose. The issues discussed must cover the following aspects:

*Rajah 3 menunjukkan penggunaan sebuah sistem robot bagi membina sebuah rumah yang sesuai digunakan untuk kehidupan manusia. Sistem robot tersebut memanfaatkan prinsip-prinsip sistem pencetakan 3D yang mana bahan yang digunakan untuk membina dinding dan struktur akan diletak secara lapis demi lapis. Rekabentuk rumah ini telah dibahagikan kepada beberapa segmen dan seterusnya disampaikan kepada pengawal robot untuk tujuan perletakan sebenar lapisan dan pengeluaran bahan. Huraikan isu-isu yang mungkin timbul untuk pembinaan rumah menggunakan sistem robot berkaitan. Isu-isu yang dibincangkan mestilah meliputi aspek-aspek berikut:*

- (i) Robotic System Design – e.g. DOF, actuations  
*Rekabentuk Sistem Robot – cth. DOF, penggerak*
- (ii) Trajectory planning  
*Perancangan jejakan*
- (iii) Sensors utilisation  
*Penggunaan penderia*

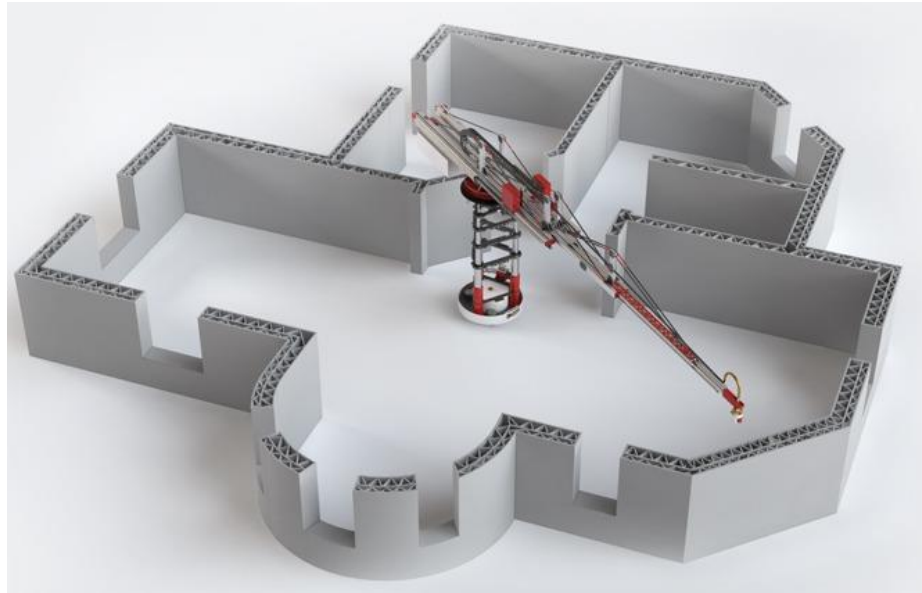


Figure 3  
Rajah 3

(70 marks/markah)

4. (a) Define the term “trajectory planning” in relation to an industrial robotic arm using the joint space techniques.

*Huraikan terma “perancangan jejakan” bagi sebuah lengan robot industri dengan menggunakan teknik-teknik ruang sendi.*

(15 marks/markah)

- (b) What do you understand by the term “Blending time”? Provide a suitable example to illustrate the description.

*Apakah yang anda faham berkenaan “Masa Gabungan”? Berikan contoh yang sesuai untuk menjelaskan huraian yang diberikan.*

(15 marks/markah)



- (c) For the 3-DOF industrial arm shown in Figure 4, design a linear trajectory with parabolic blends. The initial and final position of the end-effector is expressed by homogenous transformation matrices  $T_s$  &  $T_g$  given below and time taken for traversal is 5 seconds.

*Bagi sebuah lengan industri 3-DOF seperti yang ditunjukkan di dalam Rajah 4, rekabentuk jejak linear dengan gabungan parabolik. Kedudukan awal dan akhir "end-effector" digambarkan oleh matriks-matriks penjelmaan homogen  $T_s$  &  $T_g$  yang diberikan di bawah, dan masa yang diambil untuk pergerakan adalah 5 saat.*

(70 marks/markah)

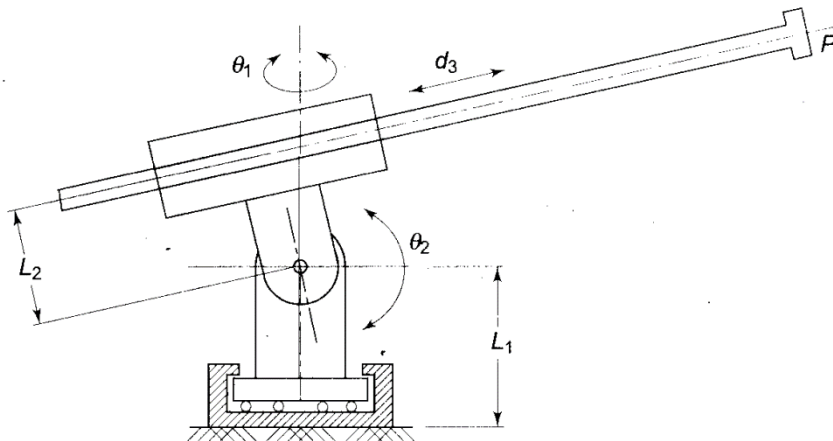


Figure 4  
Rajah 4

Homogenous Transformation Matrices:

$$T_s = \begin{bmatrix} 0.354 & 0.866 & -0.354 & -0.106 \\ -0.612 & 0.500 & 0.612 & 0.184 \\ 0.707 & 0 & 0.707 & 0.212 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_g = \begin{bmatrix} 0.583 & -0.766 & 0.272 & 0.027 \\ 0.694 & 0.643 & 0.324 & 0.032 \\ -0.423 & 0 & 0.906 & 0.091 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Homogenous Transformation Matrices for Industrial Arm in Figure 4:

$${}^0T_3 = \begin{bmatrix} C_1 C_2 & -S_1 & -C_1 S_2 & -d_3 C_1 S_2 \\ S_1 C_2 & C_1 & -S_1 S_2 & -d_3 S_1 S_2 \\ S_2 & 0 & C_2 & d_3 C_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & r_{14} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & r_{24} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & r_{34} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Inverse Kinematics for Industrial Arm in Figure 4:

$$\theta_1 = A \tan 2(-r_{24}, -r_{14})$$

$$\theta_2 = A \tan 2\left(\pm \sqrt{r_{14}^2 + r_{24}^2}, r_{34}\right)$$

$$d_3 = +\sqrt{r_{14}^2 + r_{24}^2 + r_{34}^2}$$

**APPENDIX A****LAMPIRAN A**

**Course Outcomes (CO) – Programme Outcomes (PO) Mapping**  
***Pemetaan Hasil Pembelajaran Kursus – Hasil Program***

<b>Questions <i>Soalan</i></b>	<b>CO</b>	<b>PO</b>
1	1	2
2	2	2
3	2	2
4	3	3