

---

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

First Semester Examination  
2016/2017 Academic Session

December 2016 / January 2017

**EPC 431 – Robotic And Automation**  
*[Robotik dan Automasi]*

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

---

Please check that this paper consists of TEN printed pages, and FIVE questions before you begin the examination.

*Sila pastikan bahawa kertas soalan ini mengandungi SEPULUH mukasurat, dan LIMA soalan yang bercetak sebelum anda memulakan peperiksaan.*

**Instructions** : Answer **ALL** (5) questions.  
*[Arahan : Jawab **SEMUA** (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.]*

- Q1. [a]** A robot is essentially a movable open chain of successively coupled bodies with one end fixed to the ground and the free end containing an end effector. The bodies of the open chain are usually links which are joined together by some lower pair connectors. Identify FIVE (5) common types of lower pair connectors and explain its functionality.

*Robot dasarnya adalah sebuah rantaian terbuka alih badan secara berturut-turut ditambah pula dengan satu hujung tetap ke tanah dan hujung bebas mengandungi pengesan hujung. Badan rantaian terbuka biasanya berpaut bersama-sama dengan beberapa pasangan penyambung yang lebih rendah. Kenalpasti LIMA (5) jenis pasangan penyambung yang lebih rendah dan terangkan fungsi setiap satu.*

(25 marks/markah)

- [b]** In general, the function of this component is used to grasp and hold an object and place it at a desired location. It will be different in shape, size or strength. Give THREE (3) examples of this component types and classified its application related to manufacturing industries.

*Secara amnya, fungsi komponen ini digunakan untuk memahami dan memegang objek dan meletakkannya pada lokasi yang dikehendaki. Ia akan berbeza dalam bentuk, saiz atau kekuatan. Berikan TIGA (3) contoh jenis komponen ini dan klasifikasikan penggunaannya berkaitan dengan industri pembuatan.*

(25 marks/markah)

- [c]** For three degree of freedom manipulator, with first joint is prismatic and last two joints are revolute, determine the joint variables if the manipulator orientation and position is given in the matrices below.

*Bagi pengolah tiga darjah kebebasan, dengan sendi pertama prisma dan dua sendi akhir putaran, tentukan pembolehubah sendi jika orientasi dan kedudukan pengolah diberikan nilai dalam matrik-matrik dibawah.*

$$A_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad A_2 = \begin{bmatrix} C\theta_2 & -S\theta_2 & 0 & 1 \\ S\theta_2 & C\theta_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

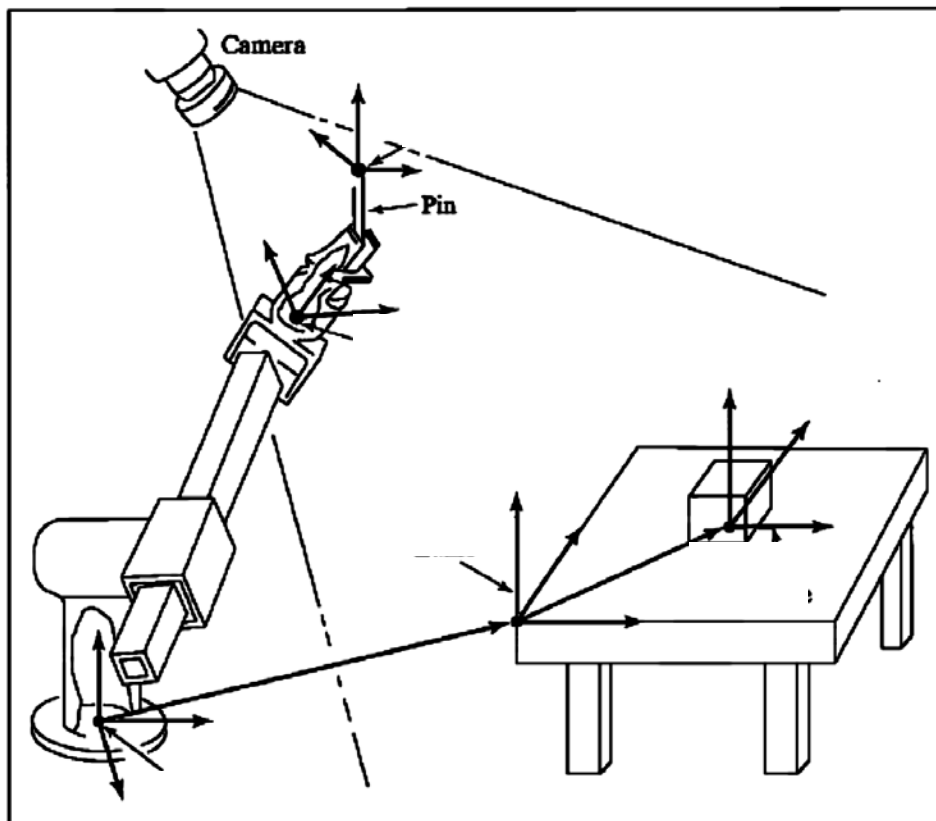
$$A_3 = \begin{bmatrix} C\theta_3 & -S\theta_3 & 0 & 1 \\ S\theta_3 & C\theta_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad T_3 = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 1.5 \\ 1 & 0 & 0 & 0.866 \\ 0 & 0 & 1 & 3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

(50 marks/markah)

- Q2. [a]** The five frames indicated in Figure Q2[a] are so often referred to that define names for them. The naming and subsequent use of these five frames in a robot programming and control system facilitates providing general capabilities in an easily understandable way. All robot motions will be described in terms of these frames.

*Lima bingkai yang ditunjukkan dalam Rajah S2[a] merupakan bingkai yang disebut bagi menentukan nama untuk mereka. Penamaan dan penggunaan lima bingkai dalam sistem pengawalan robot dan pengaturcaraan memudahkan keupayaan umum dengan cara yang mudah difahami. Semua pergerakan robot akan diterangkan merujuk kepada bingkai-bingkai ini.*

- (i) **Name all frames in Figure Q2[a]**  
*Namakan kesemua bingkai pada Rajah S2[a]* (10 marks/markah)
- (ii) **Explain the function of each frame.**  
*Terangkan fungsi setiap bingkai tersebut.* (30 marks/markah)



**Figure Q2[a]**  
*Rajah S2[a]*

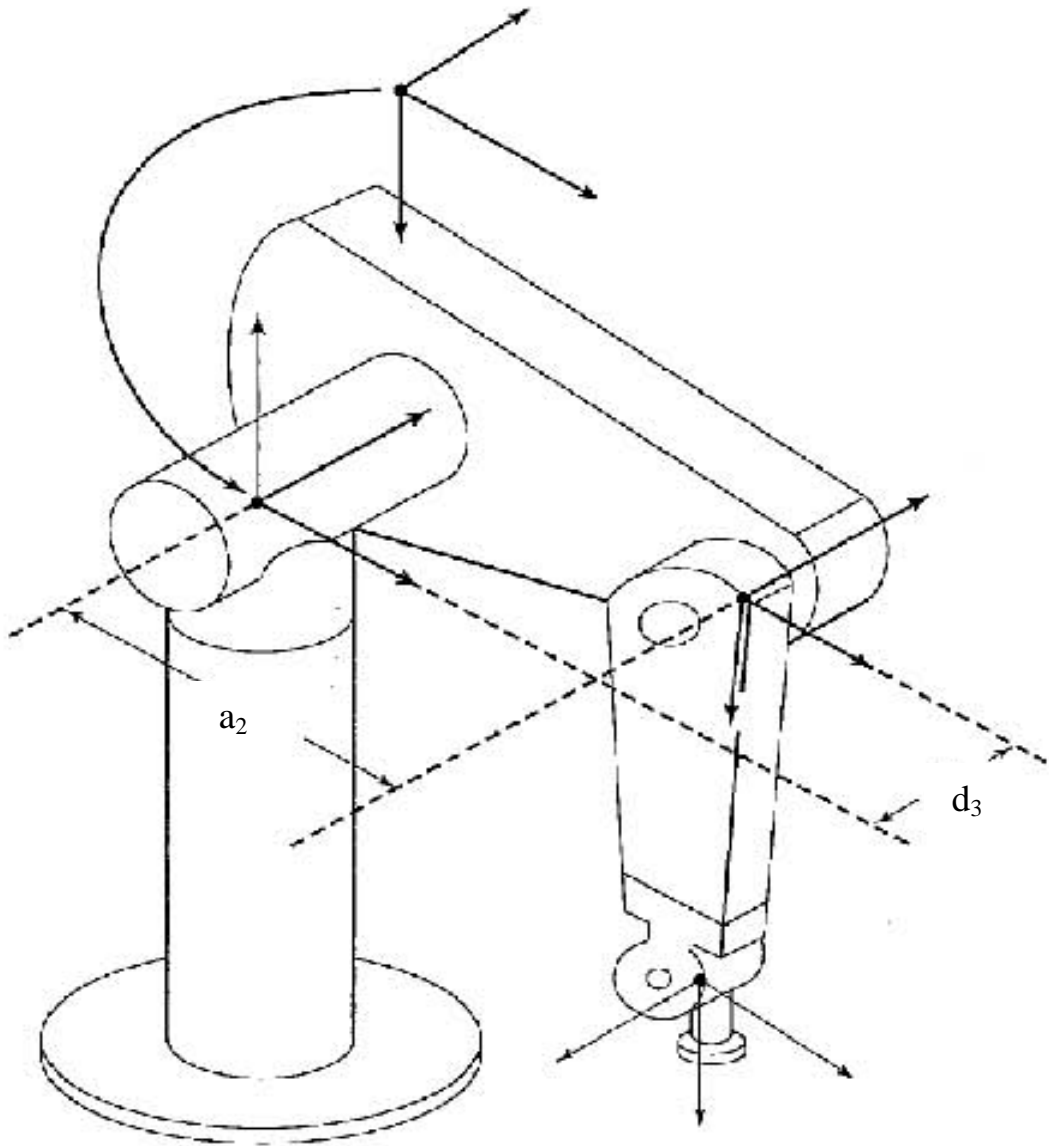
- [b] The Unimation PUMA 560 is a robot with six degrees of freedom and all joints are rotational. It is shown in Figure Q2[b](i), the link-frame assignments in the position corresponding to all joint angles equal to zero. Figure Q2[b](ii) shows a detail of the forearm of the robot. Note that the frame {0} (not shown) is coincident with frame {1}.**

*Unimation PUMA 560 adalah sebuah robot dengan enam derajat kebebasan dan semua sendi adalah putaran. Ia ditunjukkan dalam Rajah S2[b](i), bingkai-rangkaian dalam kedudukan merujuk kepada semua sudut sendi bersamaan dengan sifar. Rajah S2[b](ii), menunjukkan lengan robot dengan lengkap. Perhatikan bahawa bingkai {0} (tidak ditunjukkan) ini adalah bertepatan dengan bingkai {1}.*

**Referring to Figure Q2[b],**

*Merujuk kepada Rajah S2[b],*

- (i) Assign the coordinate frames based on the D-H representation.**  
*Tunjukkan bingkai koordinat berasaskan bentuk perwakilan D-H.*
- (5 marks/markah)**
- (ii) Fill out the parameter table.**  
*Isikan kedalam rajah parameter.*
- (15 marks/markah)**
- (iii) Write all the link transformation matrices.**  
*Tuliskan semua matriks-matriks transformasi rangkaian.*
- (15 marks/markah)**
- (iv) Solve the  ${}^U T_H$  matrix in terms of the link transformation matrices.**  
*Selesaikan matriks  ${}^U T_H$  dalam bentuk matriks-matriks transformasi rangkaian.*
- (25 marks/markah)**



**Figure Q2[b](i)**  
*Rajah S2[b](i)*

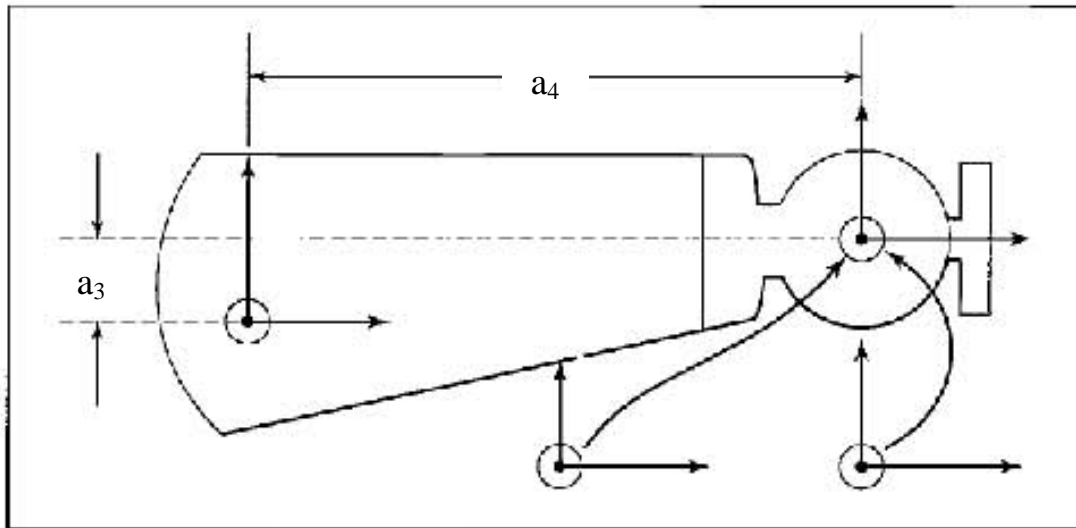


Figure Q2[b](ii)  
Rajah S2[b](ii)

Q3. [a] Figure Q3[a] shows the differential type Wheeled Mobile Robot (WMR), write the kinematic model for world frame and robot frame.

Rajah S3[a] menunjukkan robot mobil beroda jenis pembeza. Tuliskan model kinematik untuk bingkai dunia dan bingkai robot.

d<sub>3</sub>

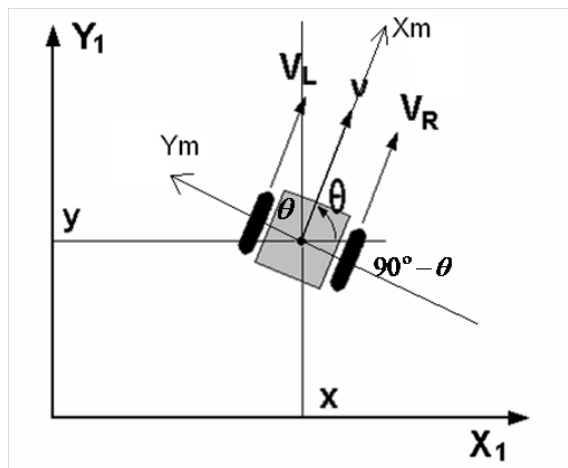


Figure Q3[a]  
Rajah S3[a]

(30 marks/markah)

[b] With the help of a sketch, explain the working envelope of a cylindrical robot arm and a polar robot arm.

Dengan bantuan lakaran, terangkan ruang kerja bagi lengan robot silinder dan lengan robot polar.

(20 marks/markah)

- [c] **List FIVE(5) types of robots and describe each one of them.**

*Senaraikan LIMA(5) jenis robot dan jelaskan setiap satu daripadanya.*

**(25 marks/markah)**

- [d] **As a production engineer in one manufacturing industry, you need to convince your top management in applying robot to improve the production in your plants. Explain FIVE (5) applications of robot in manufacturing industry with one example each.**

*Sebagai seorang jurutera pengeluaran dalam sebuah industri pembuatan, anda dikehendaki meyakinkan pengurusan tertinggi anda dalam mengaplikasikan robot untuk memperbaiki pengeluaran dalam kilang anda. Jelaskan Lima (5) aplikasi robot dalam industri pembuatan berserta satu contoh setiap satu.*

**(25 marks/markah)**

- Q4. [a] Explain FIVE(5) advantages of programming Kuka industrial robot arm using spline motion compare to approximated linear and circular motion.**

*Terangkan LIMA(5) kelebihan mengatucarakan lengan robot perindustrian Kuka menggunakan pergerakan spline berbanding dengan pergerakan lurus dan membulat berhampiran.*

**(20 marks/markah)**

- [b] **Analyze the Kuka robot program is shown in Figure Q4[b] to move the tool center point freely in the air. Tabulate the differences of the motion when the program is executed using the mode and program override (POV) shown in Table Q4[b]. (Assume 250 mm/s = 25% of the maximum speed.)**

*Analisa aturcara robot Kuka yang ditunjukkan dalam Rajah S4[b] untuk menggerakkan titik pusat pekakas bebas di udara. Jadualkan perbezaan pergerakan apabila aturcara tersebut dilaksanakan menggunakan mod dan langkau aturcara (POV) ditunjukkan dalam Jadual S4[b]. (Anggap 250 mm/s = 25% of the maximum speed.)*

1	DEF MAIN()		
2	INI		
3	PTP HOME	VEL=100%	DEFAULT
4	PTP P1	VEL=10%	PDAT1 TOOL[7] BASE[3]
5	PTP P2	VEL=30%	PDAT2 TOOL[7] BASE[3]
6	PTP P3	VEL=75%	PDAT3 TOOL[7] BASE[3]
7	PTP P4	VEL=100%	PDAT4 TOOL[7] BASE[3]
8	PTP HOME	VEL=100%	DEFAULT
9	END		

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

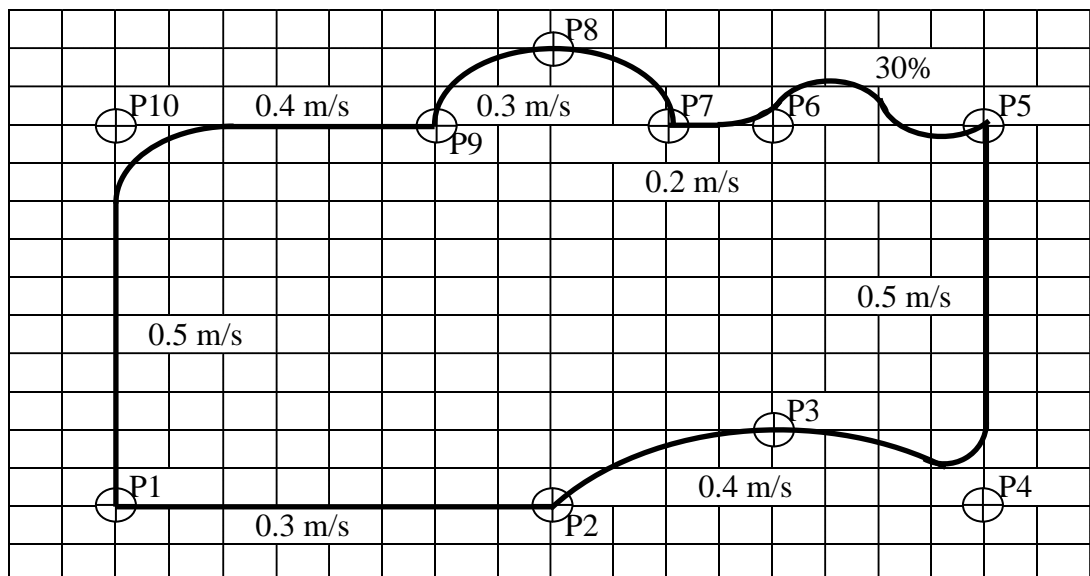
**Table Q4[b]**  
Jadual S4[b]

Case	Mode	POV
1	T1 (Test 1)	50%
2	T2 (Test 2)	50%
3	Automatic	50%
4	T1 (Test 1)	100%
5	T2 (Test 2)	100%
6	Automatic	100%

(40 marks/markah)

- [c] Write a program for Kuka robot to follow a path as shown in Figure Q4[c] with indicated speed using point to point, linear or circular motion. Set the coordinate system to TOOL[4] and BASE[2]. Approach the point P1 using point to point motion with speed 50%.

Tulis satu aturcara bagi Kuka robot untuk mengikuti satu laluan seperti ditunjukkan dalam Rajah S4[c] dengan kelajuan dinyatakan menggunakan pergerakan titik ke titik, lurus dan membulat. Set sistem koordinatnya kepada TOOL[4] dan BASE[2]. Hampiri titik P1 menggunakan pergerakan titik ke titik dengan kelajuan 50%.



**Figure Q4[c]**  
Rajah S4[c]

(40 marks/markah)



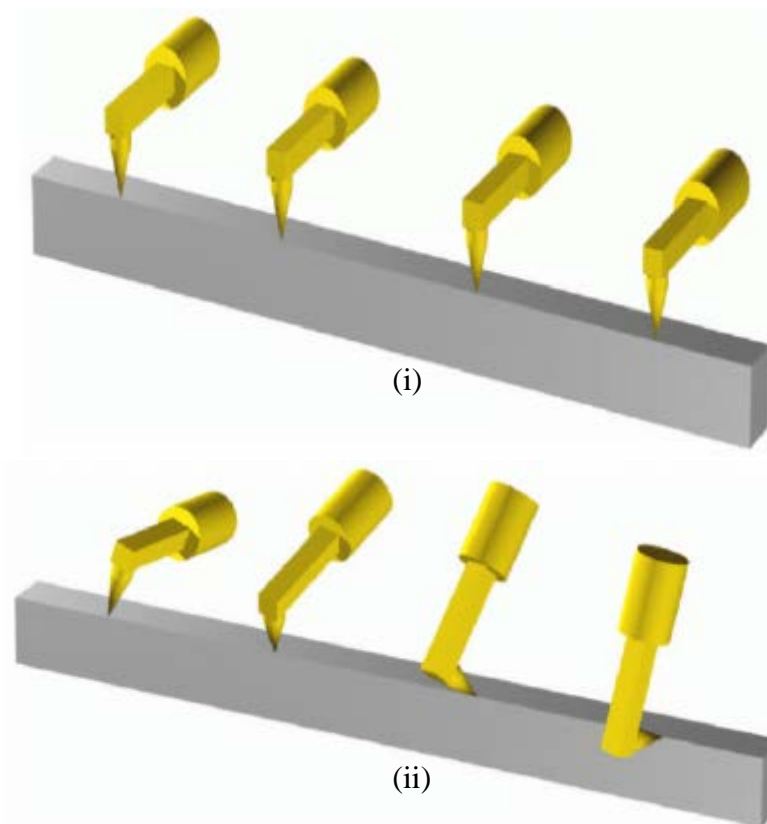
- Q5. [a] Kuka industrial robot arm can be moved either by axis specific jogging or Cartesian jogging. With the help of sketches, differentiate the motions that are generated by axis specific (joint) jogging and Cartesian (tool coordinate) jogging.**

*Lengan robot industri Kuka boleh digerakkan samaada dengan jogging tertentu paksi atau jogging Kartesian. Dengan bantuan lakaran-lakaran, bezakan pergerakan-pergerakan yang dihasilkan oleh jogging tertentu paksi (sendi) dan jogging Kartesian (koordinat perkakas).*

**(30 marks/markah)**

- [b] Figure Q5[b] shows two types of orientation control during a linear motion of a Kuka robot. Identify each type of the orientation control and discuss the differences between both types.**

*Rajah S5[b] menunjukkan dua jenis kawalan orientasi semasa gerakan lurus sebuah robot Kuka. Kenalpasti setiap jenis kawalan orientasi tersebut dan bincangkan perbezaan antara kedua-dua jenis.*



**Figure 5[b]**  
*Rajah 5[b]*

**(30 marks/markah)**

- [c] As an engineer in a manufacturing industry, you are required to automate a welding station with a robot arm. Write a program for a Kuka robot to move the tool center point linearly to points P1, P2, P3 and P4 with the speed of 0.3 m/s following a path shown in Figure 5[c]. The robot will activate a welding torch which is connected to Output 1 after 30 milliseconds passing the end of the approximate positioning range of P2 and activate an air gun which is connected to Output 2 before 50 milliseconds approximately reaching P3. Use Tool[5] and Base[7].

*Sebagai seorang jurutera dalam industri pembuatan, anda dikehendaki untuk mengautomasikan satu stesen kimpalan dengan lengan robot. Tulis satu aturcara bagi sebuah robot Kuka untuk menggerakkan titik pusat pekaknya secara lurus ke titik-P1, P2, P3 dan P4 dengan kelajuan 0.3 m/s mengikut satu laluan yang ditunjukkan dalam Rajah S5[c]. Robot tersebut akan menghidupkan muncung kimpalan yang disambungkan kepada Keluaran 1 selepas 30 milisaat melepasi akhir julat kedudukan penghampiran P2 dan menghidupkan pistol angin yang disambungkan kepada Keluaran 2 sebelum lebih kurang 50 milisaat sampai P3. Gunakan Tool[5] dan Base[7].*

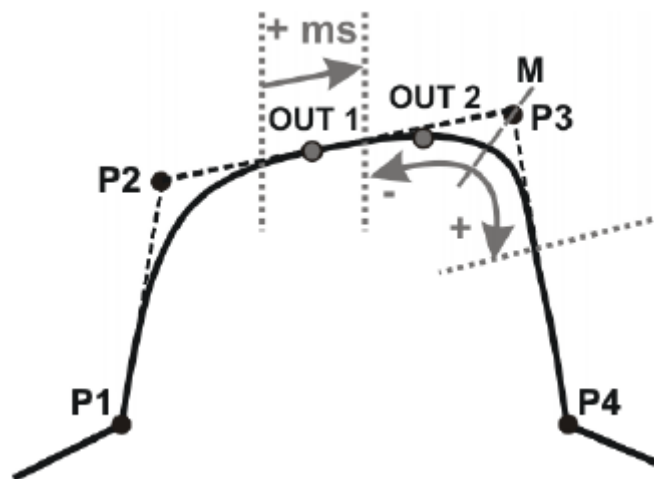


Figure 5[c]  
Rajah 5[c]

(40 marks/markah)