

CATATAN KULIAH
(*CLASSNOTES*)

ROBOTIKA INDUSTRI
(*Industrial Robotics*)

Rhiza S. Sadjad

2017

RENCANA PEMBELAJARAN

NAMA MATAKULIAH : **ROBOTIKA INDUSTRI**
KODE MATAKULIAH : **476D432 (Tahun IV, Semester Akhir, 2 SKS, Pilihan)**
DOSEN-DOSEN : 1. Ir. Christoforus Yohannes, MT
2. Dr. Ir. H. Rhiza S. Sadjad, MSEE
3. Dr. Muhammad Anshar, ST, M.Eng.Sc.

1. DAFTAR PUSTAKA:

1. **Groover**, Mikell P., et.al., "*Industrial Robotics*", McGraw-Hill Book Company, NY.
2. **Sharon**, D., et.al., "*Robotic and Automated Manufacturing*", Pitman Publishing, London, atau terjemahannya yang diterbitkan oleh PT Elex Media Komputindo, Jakarta.

2. TUJUAN:

Penyajian matakuliah ini bertujuan memberi kesempatan kepada mahasiswa Program Studi Teknik Elektro untuk mempelajari teori dasar dan aplikasi robotika di industri. Mahasiswa peserta kuliah juga diwajibkan untuk berpartisipasi dalam kegiatan yang terkait dengan kontes robot nasional yang berlangsung rutin setiap tahun bertepatan dengan disajikannya matakuliah ini

3. SILABUS SINGKAT:

Sejarah asal-mula istilah "robot", definisi robot industri, dasar-dasar teknologi robotika: anatomi robot, *work volume*, sistem penggerak robot, sistem kendali dan kinerja dinamik, presisi, *end effector*, sensor, pemrograman, sel kerja, aplikasi robot, komponen-komponen sistem kendali, analisis gerak robot dan pengenaliannya, penglihatan robot.

4. KOMPETENSI UTAMA:

1. Mampu memakai paket-paket perangkat lunak komputer untuk pemodelan dan simulasi masalah-masalah Teknik Elektro khususnya dan masalah rekayasa pada umumnya.
2. Menguasai dasar-dasar teori kendali, baik yang klasik mau pun modern serta aplikasinya dalam analisis dan perancangan sistem kendali.

5. KOMPETENSI PENDUKUNG:

1. Mampu menggunakan bahasa-bahasa pemrograman yang umum digunakan dalam dunia enjiniring
2. Mampu menggunakan bahasa asing sebagai *second language*.

6. LAINNYA:

Memiliki jiwa kepemimpinan, peneliti dan entrepreneur serta mampu bersaing.

PEKANAN:

Pekan ke	Topik	Sub-topik
1	PENGANTAR KULIAH	Administrasi Perkuliahan
2	PENDAHULUAN	- Pengantar: Sejarah asal-mula istilah "robot" - DEFINISI Robot industri
3	DASAR-DASAR TEKNOLOGI ROBOTIKA	- Dasar-dasar teknologi robot:
4		- Anatomi Robot - <i>Work Volume</i>
5		- Penggerak robot - Sistem Kendali dan kinerja dinamik
6		- Presisi - <i>End Effector</i> - Sensor
7		- Dasar-dasar pemrograman dan aplikasi robot di industri
8		
9	MIDTEST (40%)	Di kelas, 100 menit, open-book
10	ANALISIS GERAK dan PENGENDALIAN	Komponen-komponen Sistem Kendali Robot:
10		Pengendali dan Penggerak
11		Sensor posisi dan kecepatan:
12		Model Matematik dan Analisis
13		Analisis Gerak
14		KINEMATIKA ROBOT
15		Visi Robot
16		Penginderaan dan Digitalisasi
	FINAL (60 %)	(<i>open book, 100 menit</i> , sesuai jadwal)

Catatan: Ke-ikut-serta-an dan aktivitas peserta kuliah dalam kegiatan "*Komunitas Cyber-Tech*" khususnya yang terkait dengan *Kontes Robot Indonesia (KRI)* dan *Kontes Robot Cerdas Indonesia (KRCI)* menjadi tambahan komponen penilaian akhir.

* Robotika Industri Lanjut

Referensi = Groover, et.al., "Industrial Robotics"

ROBOTIKA
(Bidang Studi)

Humanoid & Cybernetics
"AI" → robot spt

- manusia
- binatang

Industri

robot (RIA)

Definisi

An industrial robot is a reprogrammable, multifunctional manipulator designed to move materials, parts, tools, or special devices through variable programmed motions for the performance of a variety of tasks (Groover, 1986, page 5)

* Kinerja

* Gerak

* Program

⇒ tujuan

kecepatan → "speed"

ketepatan → "error"

INDUS-
TRI



"**Industrial robots.** **Industrial robot** as defined by ISO 8373: An automatically controlled, reprogrammable, multipurpose manipulator programmable in three or more axes, which may be either fixed in place or mobile for use in **industrial** automation applications."

* Otomatisasi
Otomasi

Manual ← manusia
Google → "Industrial Robotics"

* "ROBOT" ← cerita sandiwara

1920 Karel Capek

"Rossum's Universal Robots"

Bahasa Czech (ceko) "robota"

= Pembantu Rumah
Tangga

1939 Isaac Asimov
↳ novel² "sci-fi"

⇒ Hollywood

↓
populer
ke seluruh dunia

1970-
1980an

STAR WARS

C3PO = "sitiripio"

R2D2 = "Artoandito"

* "ROBOT" ← cerita sandiwara

1920 Karel Capek

"Rossum's Universal Robots"

Bahasa Czech (reko) "robota"

= Pembantu Rumah
Tangga

1939 Isaac Asimov
↳ novel² "sci-fi"

⇒ Hollywood

↓
populer
ke seluruh dunia

1970-
1980an

STAR WARS

C3PO = "sitiripio"

R2D2 = "Artoandito"

* Sejarah
ROBOT

1700 → 1984
Kronologi

(E-roover, hal. 15)

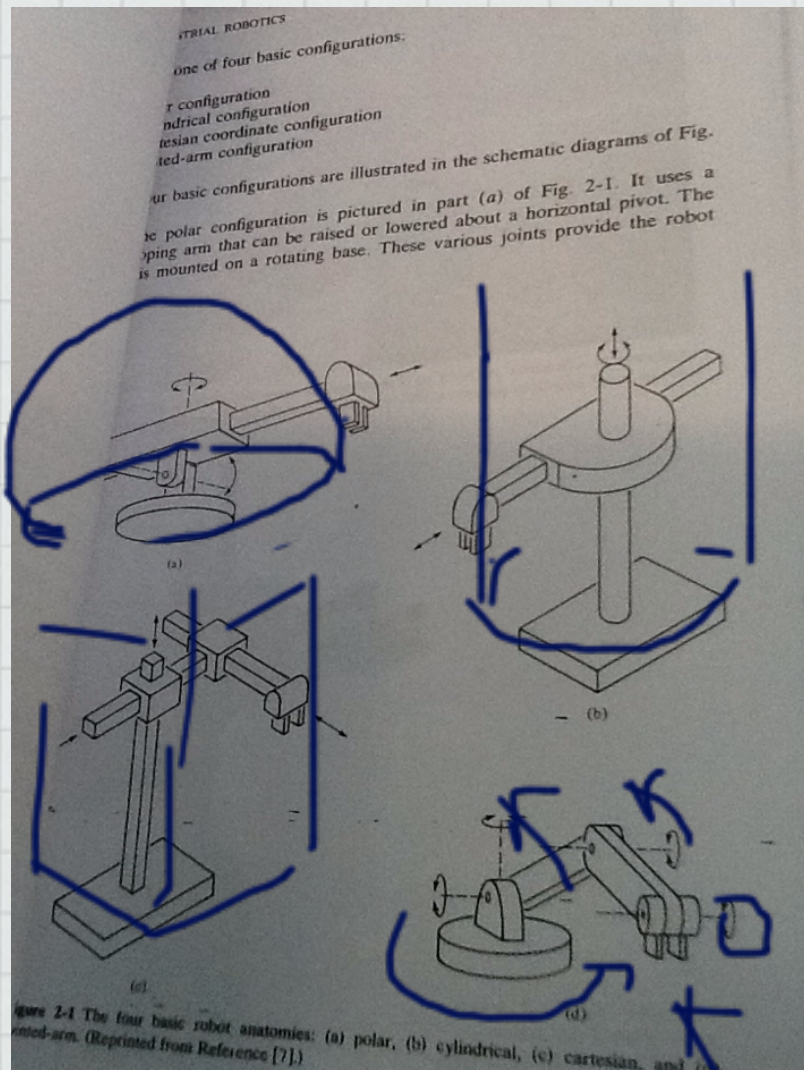
* Sejarah ROBOT 1700 → 1984
Kronologi (E-roover, hal. 10)

Chapter 2

DASAR² TEKNOLOGI ROBOT

1. Anatomi Robot
2. Volume Kerja
3. Sistem Penggerak
4. Sistem Kendali dan Dinamika Robot
5. Presisi
6. End Effectors
7. Sensor
8. Pemrograman
9. Aplikasi

* ANATOMI ROBOT



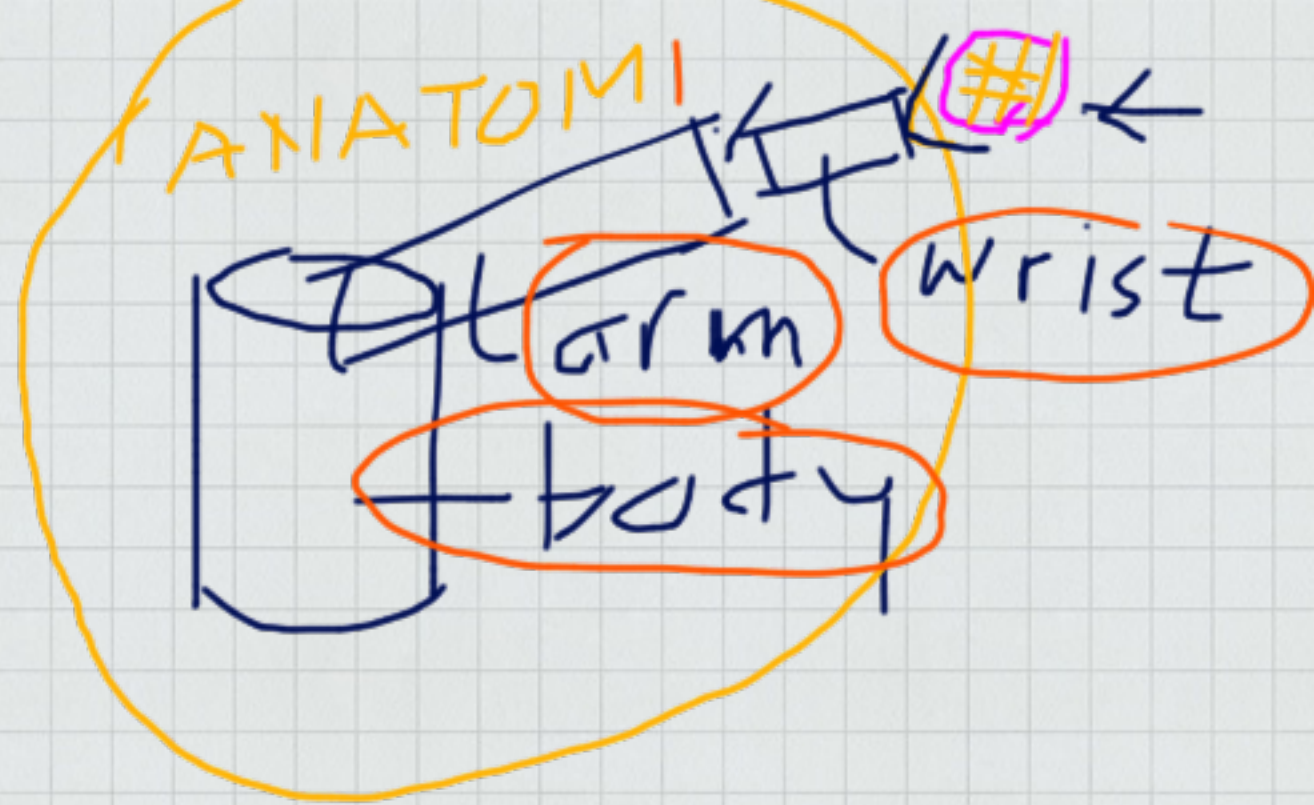
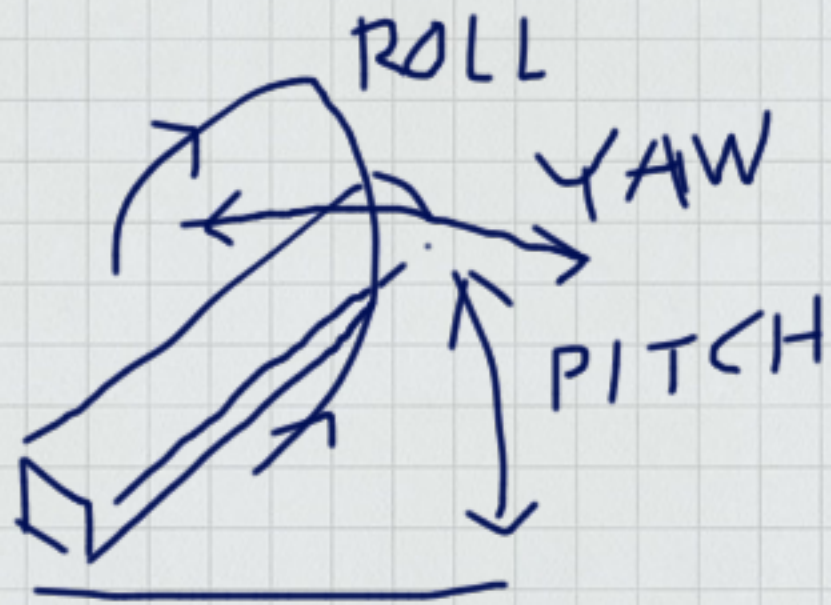
Konfigurasi Robot:

- * POLAR
- * SILINDRIS
- * Kartesias
- * Persendian

Pola gerak → derajat
hal 2g ← "R" kebebasan
Fig 2-9
flexible
rotating 4 atau 6

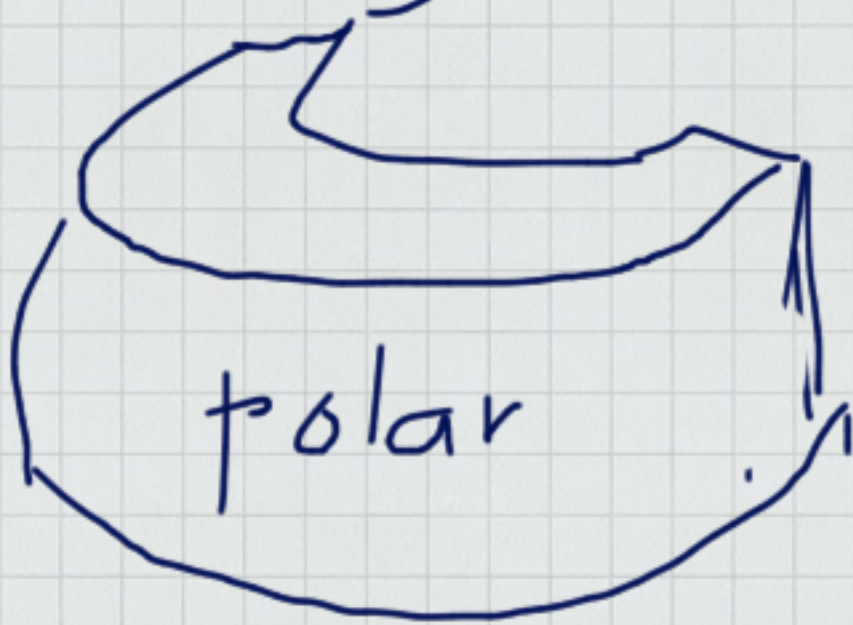
"T" twisting

"L" linear
"V" revolve

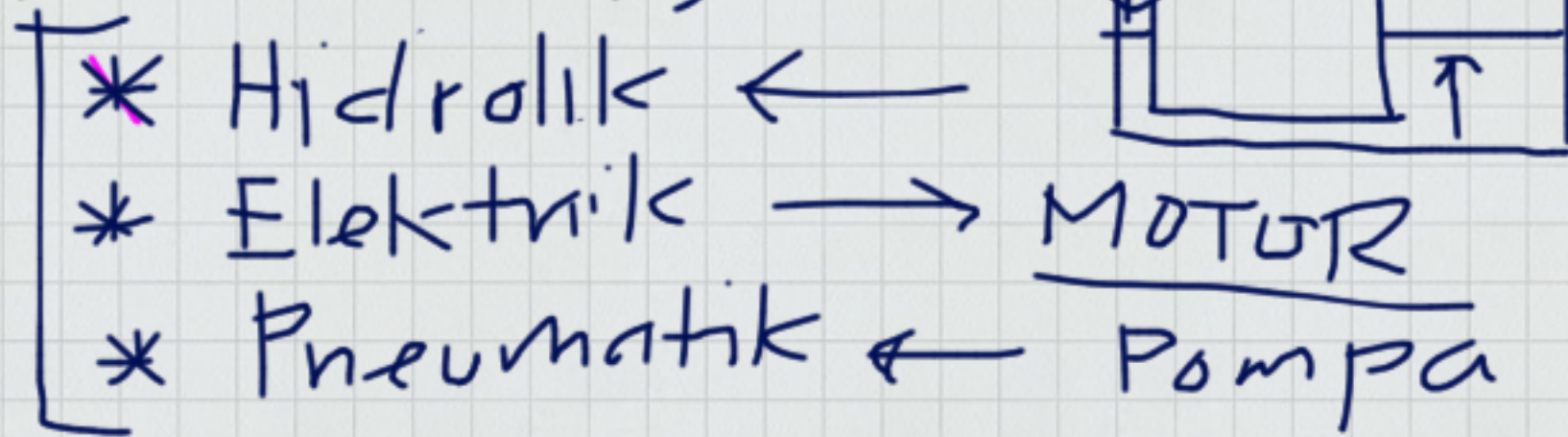


* Volume Kerja

Tergantung konfigurasi =



* Sistem Penggerak Robot



cairan
udara/gas

⇒ SPEED ⇌ AKURASI

⇒ Load Carrying Capacity

* Sistem KENDALI ROBOT dan DINAMIKA

- * Limited sequence $\rightarrow$ (A)
- * Playback, point-to-point $\rightarrow$ (B)
- * Playback, continuous path $\rightarrow$ (C)
- * Intelligent Robot $\rightarrow$ (D)

$\Rightarrow$ (A) sederhana, tanpa sensor, tanpa umpan balik, $\rightarrow$ urutan/langkah kerja.

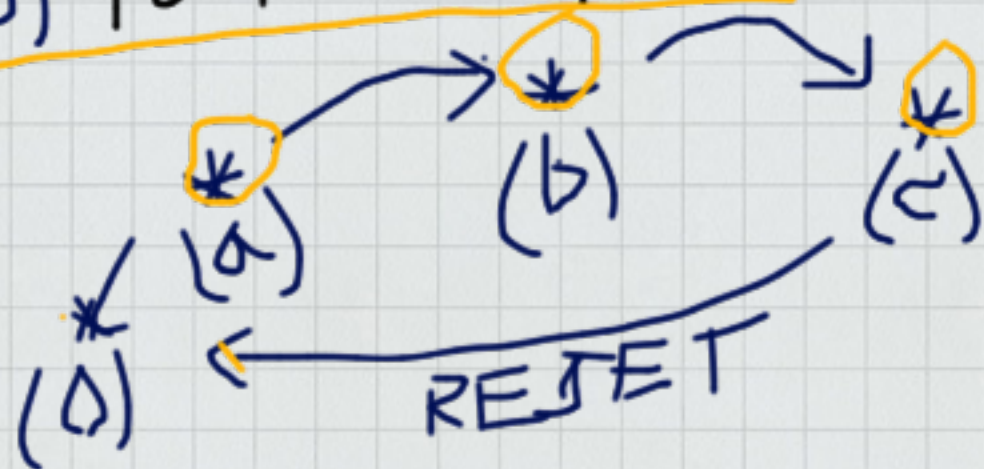
Misalnya:

- * Reset ke posisi awal
- * Putar α^0 ke W
- * Lurus θ ke LEFT
- * Posisi akhir

Diharapkan
sesuai
yg diinginkan

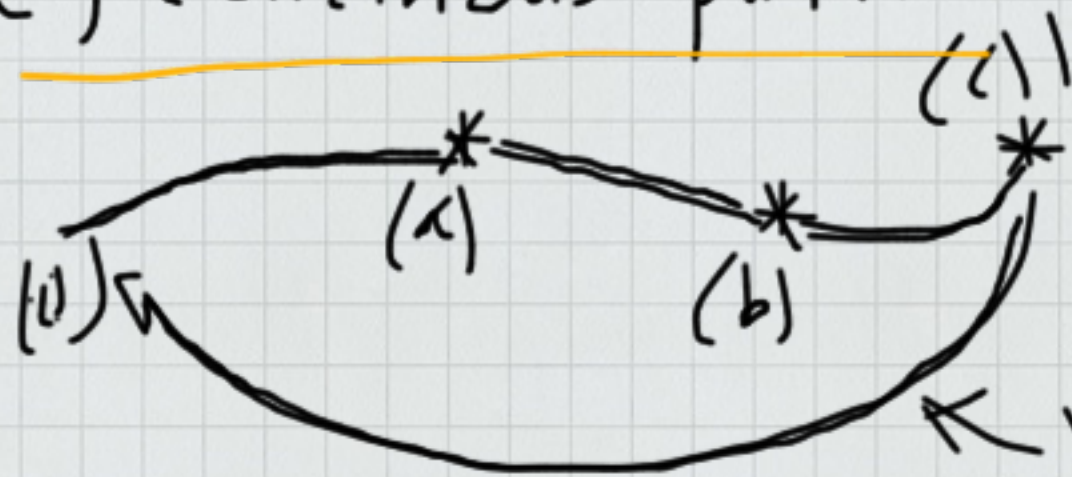
(B), (C) Playback = * Dicontohkan gerakannya sampai mencapai titik akhir yang diinginkan

(B) point-to-point



* Direkam jejak langkahnya → RESET
* "Dimainkan" kembali

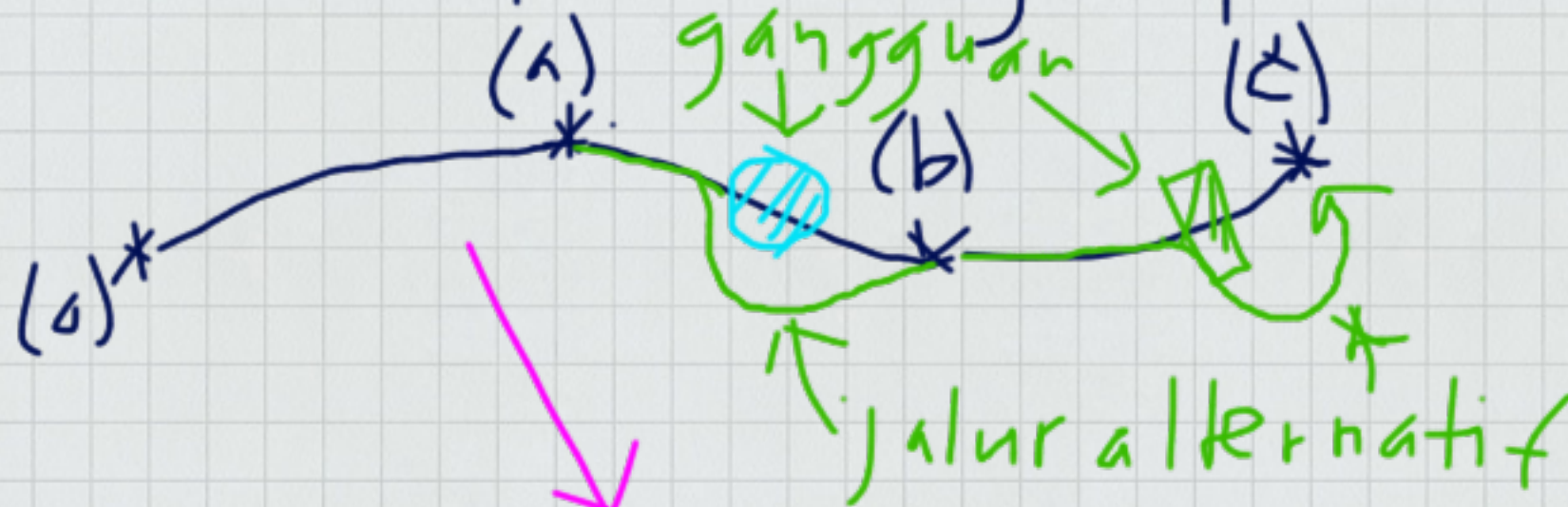
(C) continuous path



mengikuti jalur tertentu
misalnya ditentukan dengan garis

(D) "Intelligent"

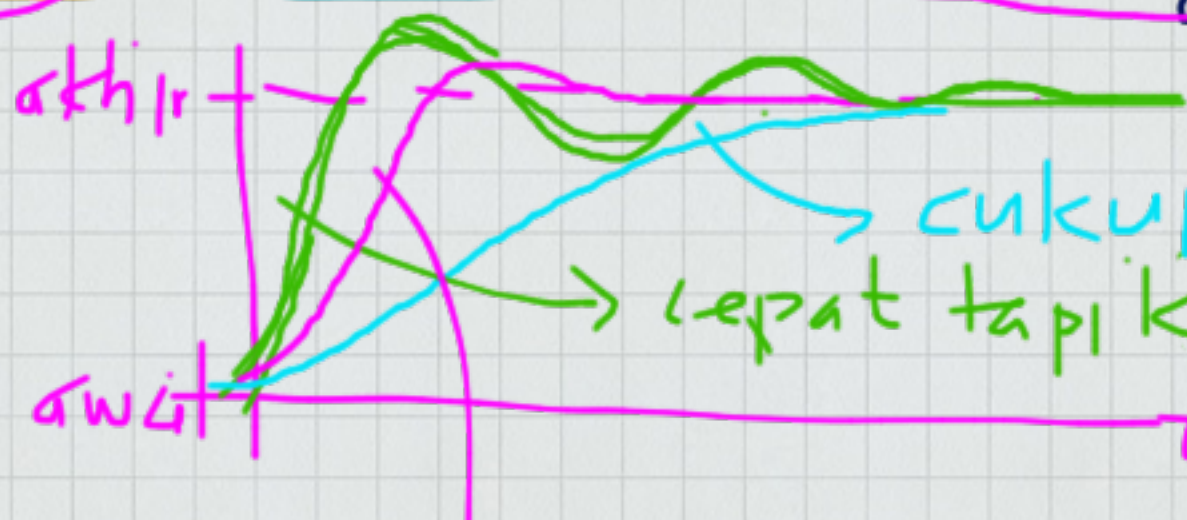
→ beradaptasi dengan perubahan keadaan



* Adaptif → mengatasi gangguan dari LUAR

* Robust → mengatasi gangguan dari DALAM

* Speed vs Stability



cukup stabil, tapi lambat, $\zeta > 1$

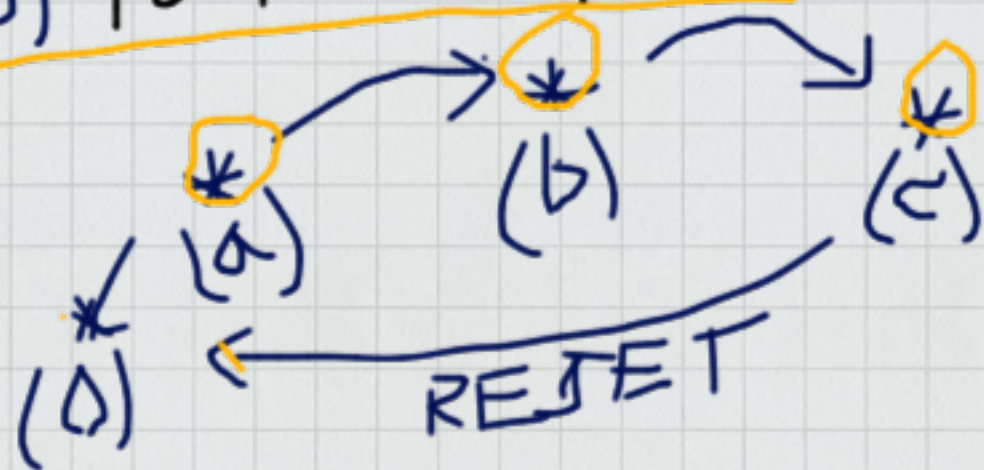
cepat tapi kurang stabil, $0 < \zeta < 1$

yang diinginkan
idealnya $\zeta = 1$

$$\zeta = 1$$

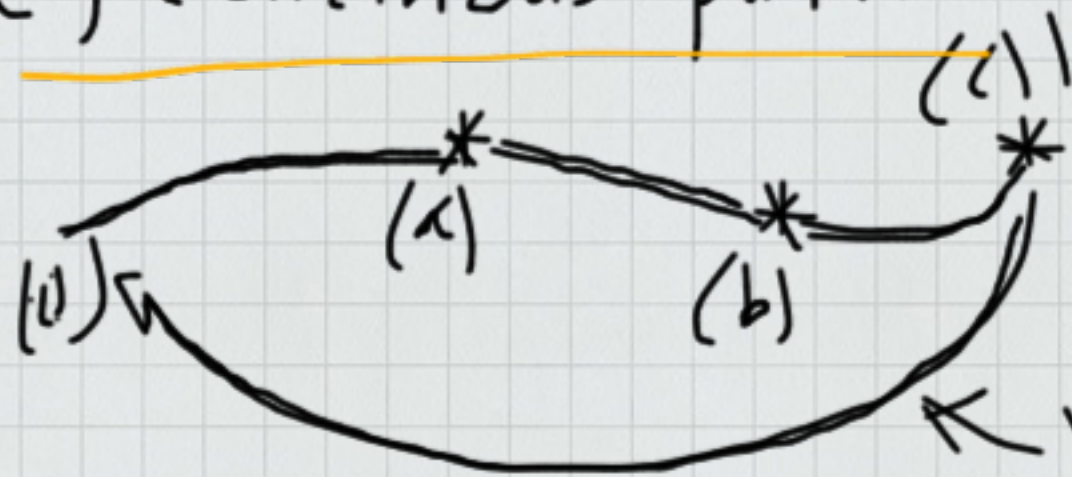
(B), (C) Playback = * Dicontohkan gerakannya sampai mencapai titik akhir yang diinginkan

(B) point-to-point



* Direkam jejak langkahnya → RESET
* "Dimainkan" kembali

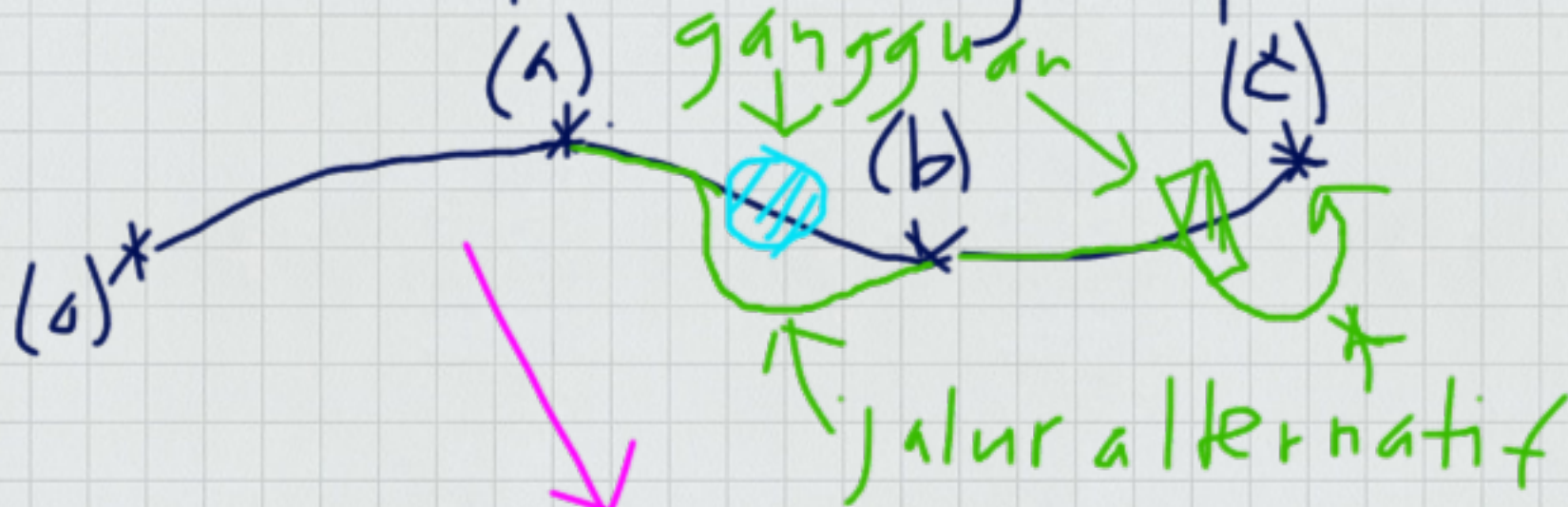
(C) continuous path



mengikuti jalur tertentu
misalnya ditentukan dengan garis

(D) "Intelligent"

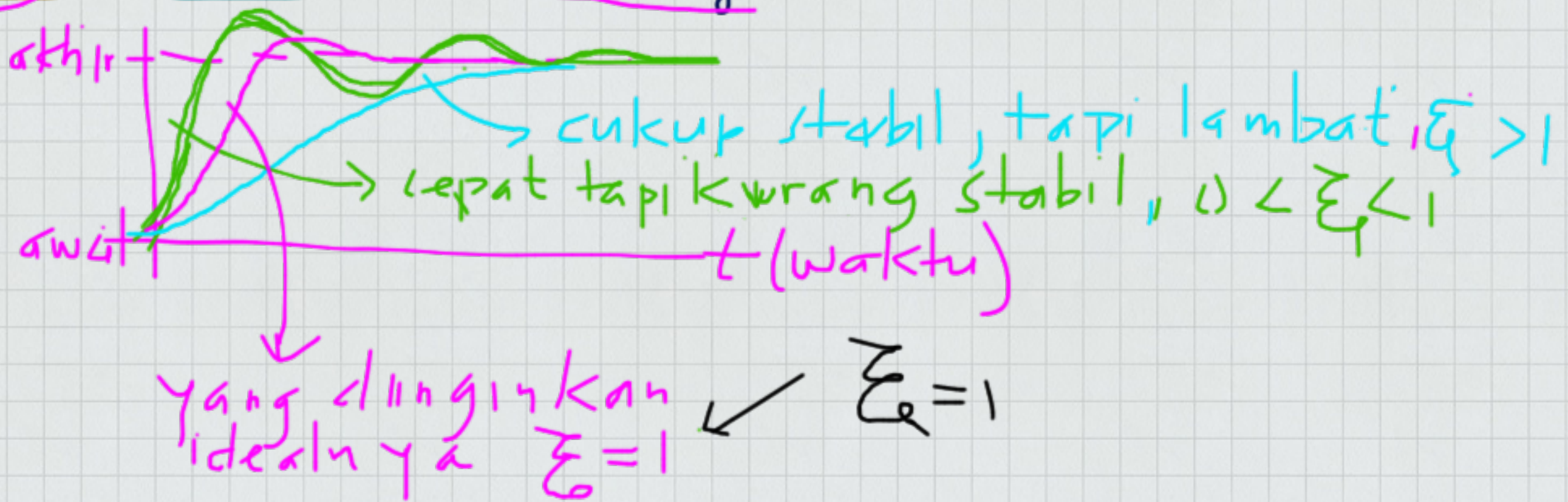
→ beradaptasi dengan perubahan keadaan



* Adaptif → mengatasi gangguan dari LUAR

* Robust → mengatasi gangguan dari DALAM

* Speed vs Stability

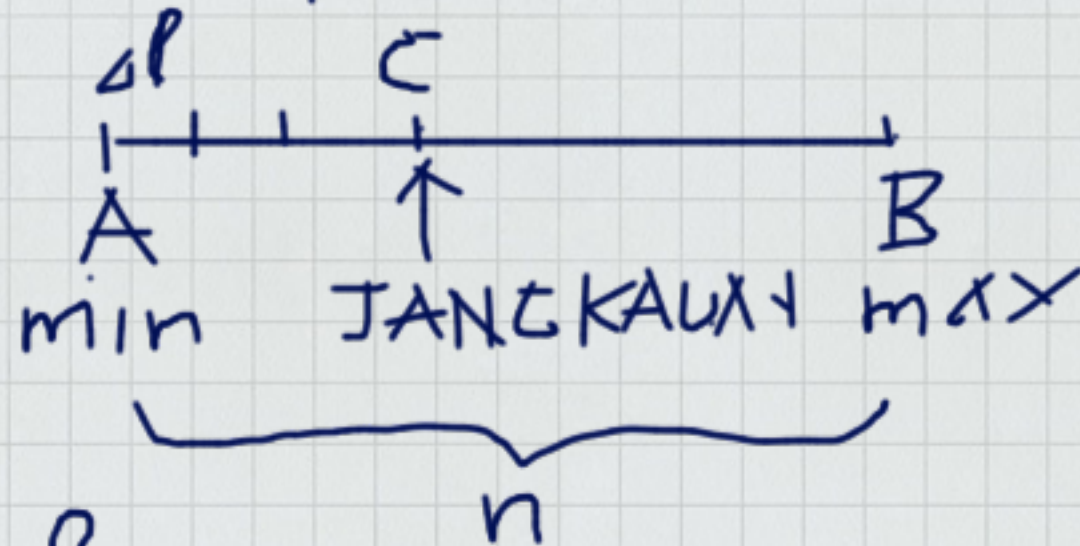


UTIAN (tertulis), 09/06/16 open book
Robotika

* PREKISI

- Resolusi
- Akurasi
- Repeatabilitas

* Resolusi



$$\Delta l = \frac{l}{n} \leftarrow \text{resolusi}$$

$$l = 1 \text{ m}$$

$$n = 16 \leftarrow 4 \text{ bit}$$

posisi

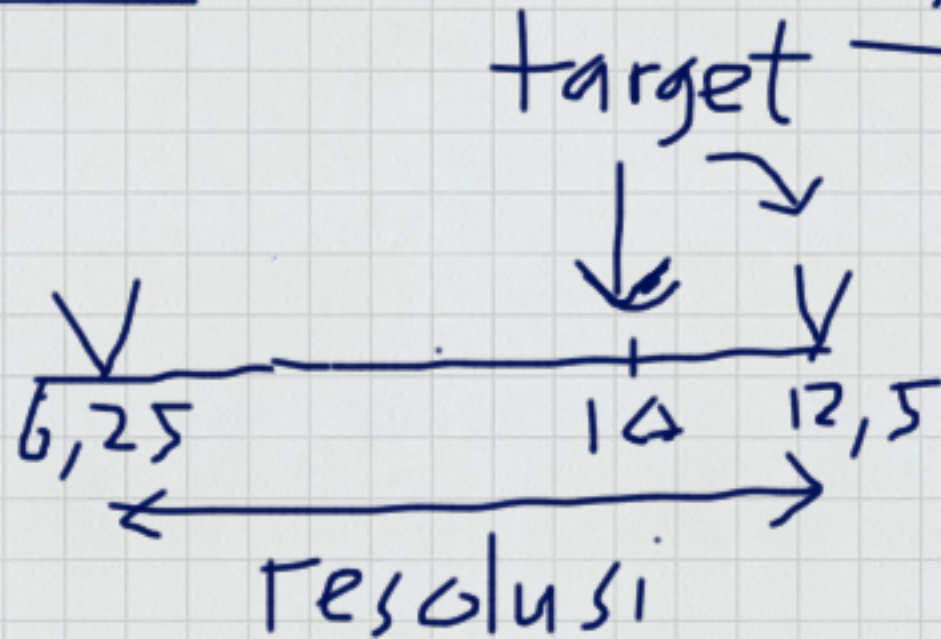
$$\Delta l = \frac{100 \text{ cm}}{16}$$

$$= 6,25 \text{ cm}$$

Misalnya ϕ 5 cm dari A,
titik C tidak bisa dicapai

$$\begin{array}{l} \rightarrow A \\ A + 6,25 \\ A + 12,5 \\ \vdots \\ B \end{array}$$

* Akurasi



$$\text{Akurasi} = \pm \frac{1}{2} \Delta \leftarrow \begin{matrix} \text{maximum} \\ \text{error} \end{matrix}$$

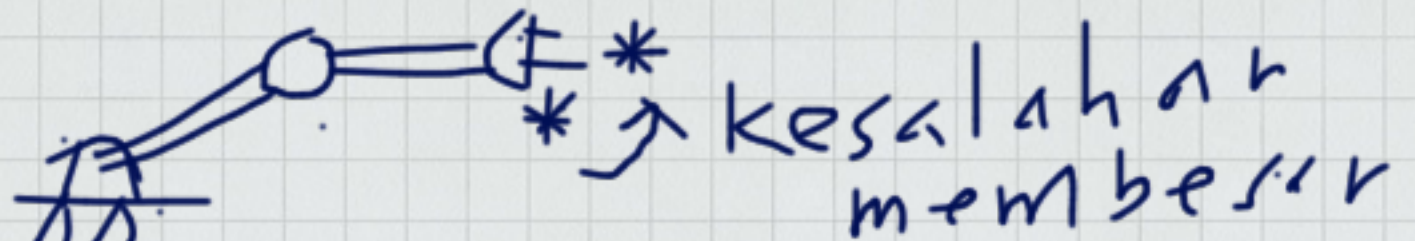
Resolusi

Penyebab tidak akurat-nya lengan robot salah satunya adalah Resolusi

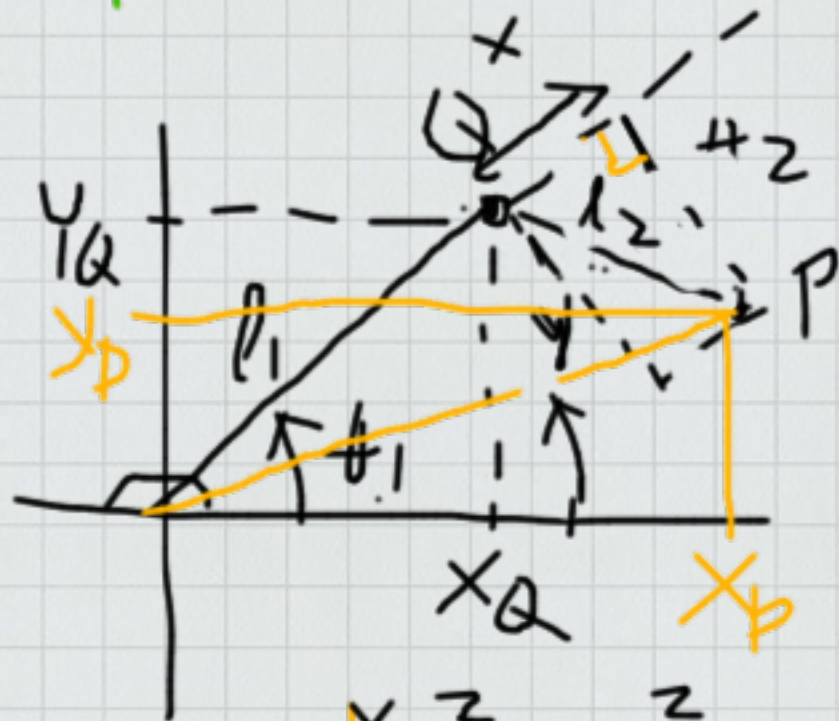
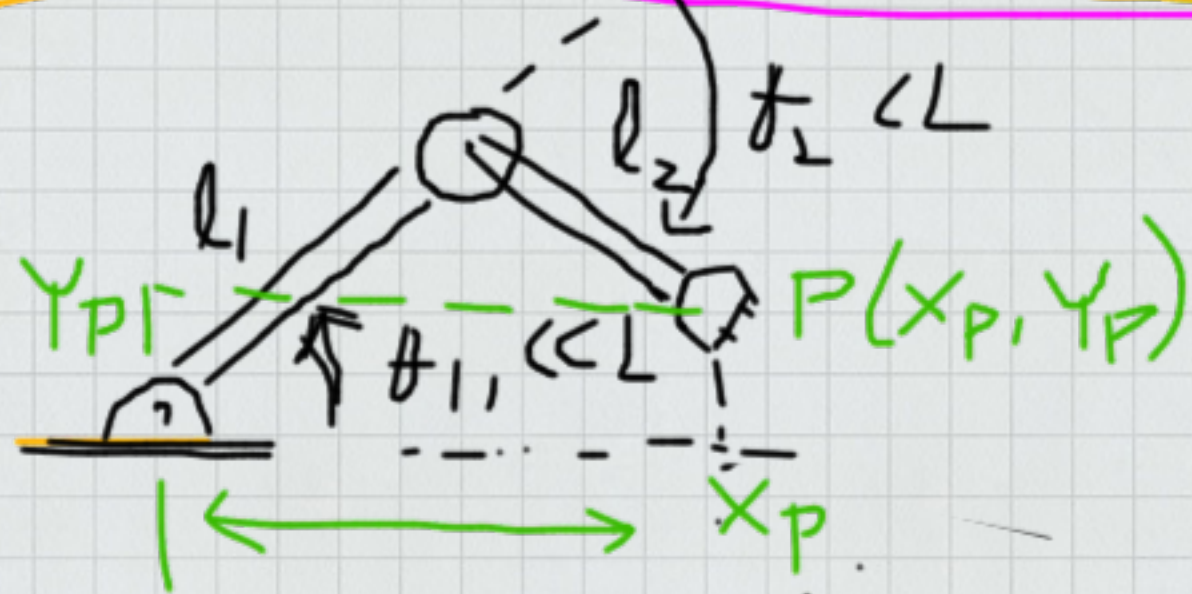
Hal-hal lain yang menyebabkan lengan robot tidak akurat misalnya: * titik yang lebih jauh dari base



* beban terlalu besar



* KINEMATIKA ROBOT



Misalnya diketahui
 l_1, l_2, θ_1 dan θ_2
Dicari x_P dan y_P

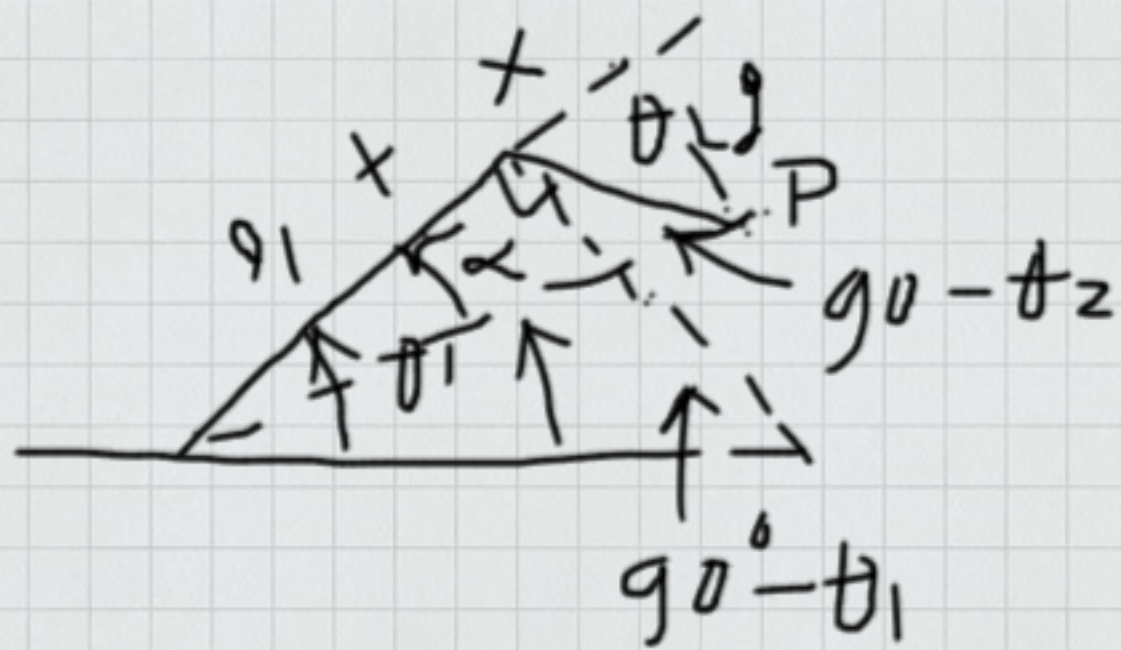
$$x_Q = l_1 \cos \theta_1$$

$$y_Q = l_1 \sin \theta_1$$

$$x = l_2 \cos \theta_2$$

$$y = l_2 \sin \theta_2$$

$$x_P^2 + y_P^2 = (l_1 + x)^2 + y^2 = (l_1 + l_2 \cos \theta_2)^2 + (l_2 \sin \theta_2)^2 = A \quad (1)$$



$$\alpha = \tan^{-1} \frac{y}{x + l_1}$$

$$\frac{y_P}{x_P} = \tan(\theta_1 - \alpha) \quad \text{--- (2)}$$

Contoh

Diketahui : $l_1 = 1 \text{ m}$ $l_2 = 0,4$
 $\theta_1 = 30^\circ$ $\theta_2 = 45^\circ$

Ditanyakan : $P(x_P, y_P)$

$$x = l_2 \cos \theta_2 = 0,4 \cos 45^\circ = 0,2828$$

$$y = l_2 \sin \theta_2 = 0,4 \sin 45^\circ = 0,2828$$

$$(l_1 + x) = 1,2828 \rightarrow x_P^2 + y_P^2 = (0,2828)^2 + (1,2828)^2 = 1,7257$$

$$\angle = \tan^{-1} \frac{y}{x+l_1} = 12,43$$

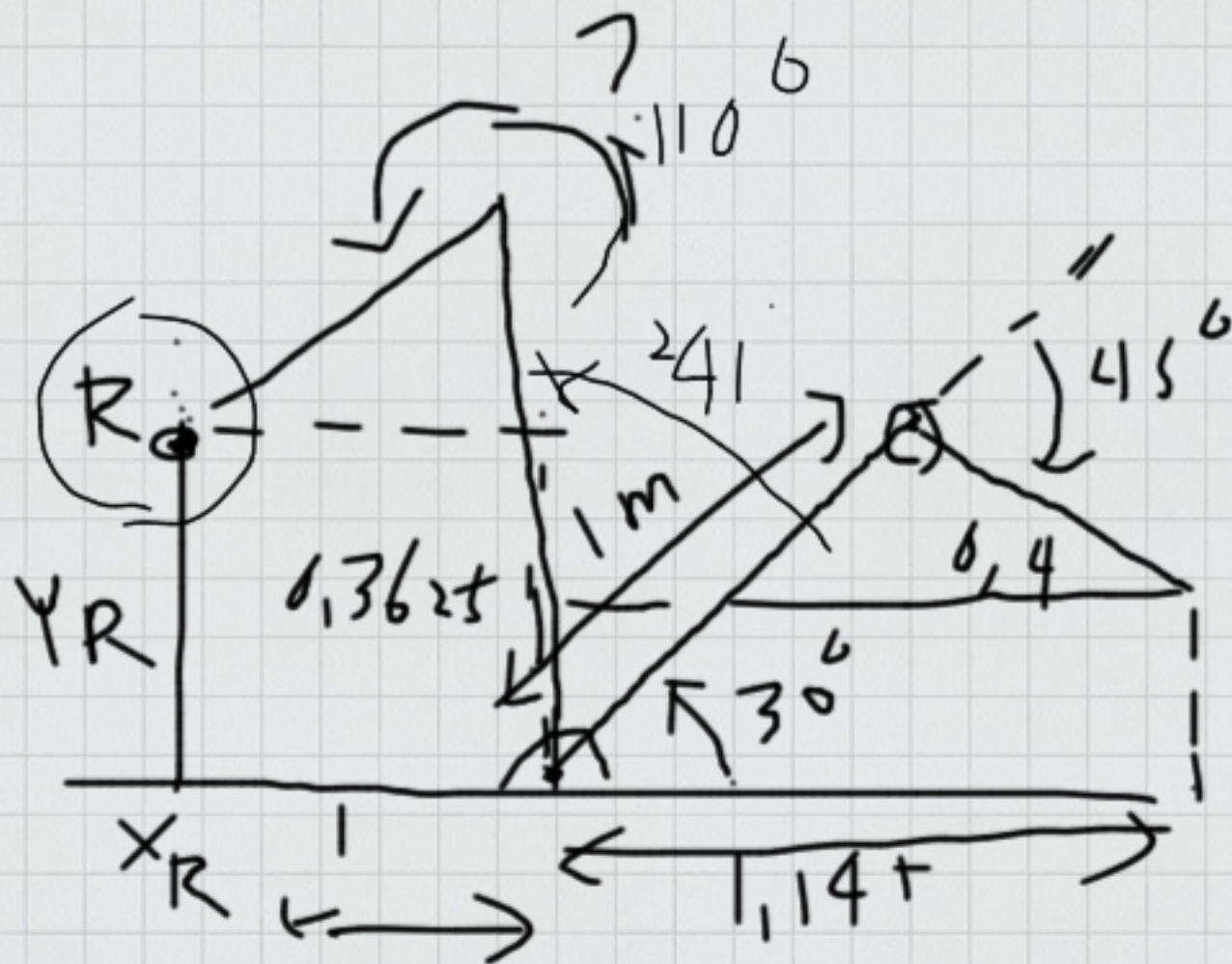
$$\frac{y_p}{x_p} = \tan(\theta_1 - \alpha) = \tan(17,57) = 0,3166 \rightarrow y_p = 0,3166 x_p$$

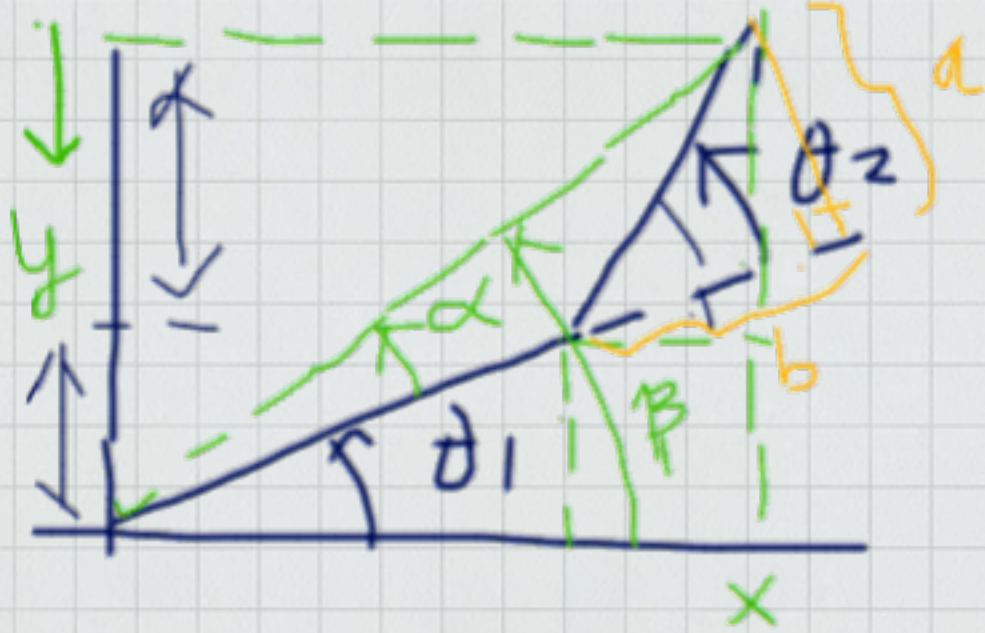
$$x_p^2 + (0,3166 x_p)^2 = 1,7257$$

$$1,3166 x_p^2 = 1,7257 \rightarrow x_p = \sqrt{\frac{1,7257}{1,3166}} = \underline{1,145}$$

$$y_p = 0,3166 \times 1,145 = 0,3625$$

Misalnya lengan robot diputar shg mencapai $R(-1, 0, 6)$
Ditanyakan θ_1, θ_2





$$x = l_1 \cos \theta_1 + l_2 \cos (\theta_1 + \theta_2) \rightarrow x_p$$

$$= l_1 \cos \theta_1 + l_2 \cos \theta_1 \cos \theta_2 - l_2 \sin \theta_1 \sin \theta_2$$

$$y = l_1 \sin \theta_1 + l_2 \sin (\theta_1 + \theta_2) \rightarrow y_p$$

$$= l_1 \sin \theta_1 + l_2 \sin \theta_1 \cos \theta_2 + l_2 \cos \theta_1 \sin \theta_2$$

$$x^2 = l_1^2 \cos^2 \theta_1 + 2l_1 l_2 \cos^2 \theta_1 \cos \theta_2 - 2l_1 l_2 \sin \theta_1 \cos \theta_1 \sin \theta_2$$

$$+ 2l_2^2 \sin^2 \theta_1 \cos^2 \theta_2 + l_2^2 \sin^2 \theta_1 \sin^2 \theta_2$$

$$y^2 = l_1^2 \sin^2 \theta_1 + 2l_1 l_2 \sin^2 \theta_1 \cos \theta_2 + 2l_1 l_2 \cos \theta_1 \sin \theta_1 \cos \theta_2 \sin \theta_2$$

$$+ 2l_2^2 \sin \theta_1 \cos \theta_1 \sin \theta_2 \cos \theta_2 + l_2^2 \sin^2 \theta_1 \cos^2 \theta_2 + l_2^2 \cos^2 \theta_1 \sin^2 \theta_2$$

$$x^2 + y^2 = l_1^2 + 2l_1 l_2 \cos \theta_2 + l_2^2 \cos^2 \theta_2 + l_2^2 \sin^2 \theta_2$$

$$x^2 + y^2 = l_1^2 + 2l_1l_2 \cos \theta_2 + l_2^2$$

$$\cos \theta_2 = \frac{x^2 + y^2 - l_1^2 - l_2^2}{2l_1l_2} \rightarrow \theta_2 = \cos^{-1} \frac{x^2 + y^2 - l_1^2 - l_2^2}{2l_1l_2}$$

$$a = l_2 \sin \theta_2$$

$$b = l_2 \cos \theta_2$$

$$\tan \alpha = \frac{a}{l_1 + b}$$

$$= \frac{l_2 \sin \theta_2}{l_1 + l_2 \cos \theta_2}$$

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{a}{l_1 + b}$$

$$\tan \beta = \frac{y}{x} \rightarrow \beta = \tan^{-1} \frac{y}{x}$$

$$\boxed{\theta_1 = \alpha - \beta}$$

Diketahui: $x_R = -1$ $y_R = 0,6$ $l_1 = 1$ $l_2 = 0,4$

$$\theta_2 = \cos^{-1} \left[\frac{1 + 0,36 - 1 - 0,16}{2(1)(0,4)} \right] = \cos^{-1} \left(\frac{0,2}{0,8} \right) = \pm 75,5^\circ$$

$$a = l_2 \sin \theta_2 = 0,4 \sin (-75,5) = -0,3873$$

$$l_1 + b = l_1 + l_2 \cos \theta_2 = 1,1 \quad \rightarrow \alpha = \tan^{-1} \frac{a}{l_1 + b}$$

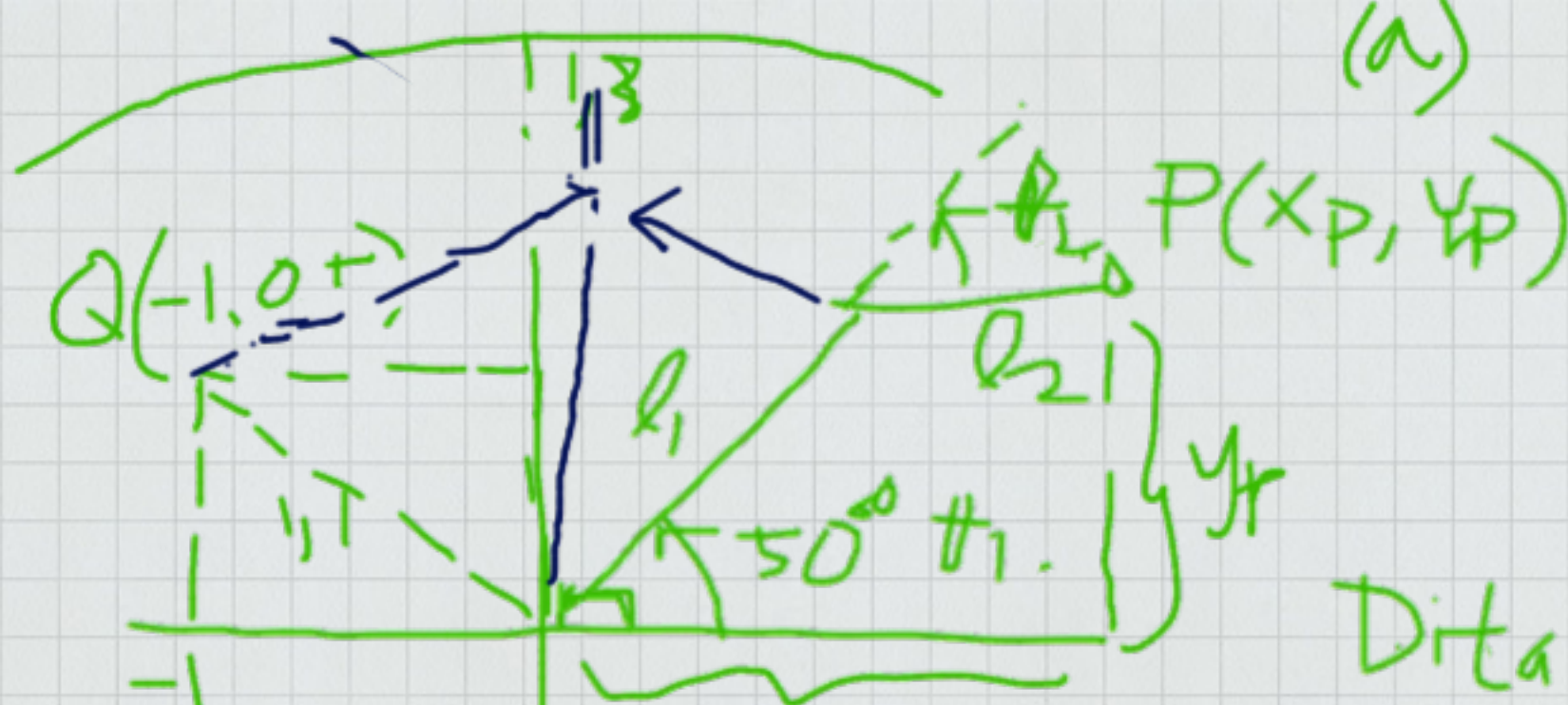
$$= -19,4^\circ$$

$$\beta = \tan^{-1} \frac{y}{x} = \tan^{-1} \frac{0,6}{-1} = \tan^{-1} (-0,6) = -30,96^\circ$$

$$\theta_1 = \beta - \alpha = -30,96^\circ - (-19,4^\circ) = -11,56^\circ$$

Untuk mencapai $R(1, 0,6)$ dari $P(x_p, y_p)$, maka sendi θ_1 harus diputar $CCL = 30 - (-11,56^\circ) = 41,56^\circ$

sendi θ_2 harus diputar $CCL = 45^\circ - (-75,5^\circ) = 120,5^\circ$



$$l_1 = 1 \text{ m}$$

$$l_2 = 0.3 \text{ m}$$

$$\theta_1 = 50^\circ$$

$$\theta_2 = -30^\circ$$

Ditanyakan x_p dan y_p

(1) $x_p^2 + y_p^2$ } x_p
 (2) $\frac{y_p}{x_p}$ } x_p dan y_p

$$(1) \quad x_p^2 + y_p^2 = (l_1 + l_2 \cos \theta_2)^2 + (l_2 \sin \theta_2)^2$$

$$= (1 + 0.3 \cos (-30^\circ))^2 + (0.3 \sin (-30^\circ))^2$$

$$= 1.6091$$

$$(2) \alpha = \tan^{-1} \frac{y}{x+l_1} = \tan^{-1} \frac{l_2 \sin \theta_2}{l_2 \cos \theta_2 + l_1}$$

$$= -6,79^\circ$$

$$\frac{y_p}{x_p} = \tan(\theta_1 - \alpha) = \tan(50^\circ - (-6,79)) = 1,5276$$

$$y_p = 1,5276 x_p \rightarrow (1)$$

$$x_p^2 + y_p^2 = 1,6091$$

$$x_p^2 + (1,5276 x_p)^2 = 1,6091$$

$$x_p = \sqrt{\frac{1,6091}{1 + (1,5276)^2}} = 0,6947$$

$$y_p = 1,5276 \cdot 0,6947 = 1,0612$$

(b) Untuk mencapai $Q(-1, 0,5)$ berapa derajat sendi 1 dan 2 harus diputar dari posisi $P(x_p, y_p)$, dan C/L atau CCL $\rightarrow$

Harus dicari θ_1 dan θ_2 untuk $Q(-1, 0,5)$

$$\theta_2 = \cos^{-1} \left[\frac{x_Q^2 + y_Q^2 - l_1^2 - l_2^2}{2 l_1 l_2} \right] = 74,53^\circ$$

Sendi 2 diputar CCL $74,53^\circ - (-30^\circ)$
 $= 104,53^\circ$

$$\theta_1 = \alpha - \beta = \left[\tan^{-1} \left(\frac{l_2 \sin \theta_2}{l_1 + l_2 \cos \theta_2} \right) \right] - \left[\tan^{-1} \left(\frac{y_Q}{x_Q} \right) \right]$$
$$= 87,86^\circ$$

sendi 1 diputar CCL $87,86^\circ - 50^\circ = 37,86^\circ$

Nama: _____

Tandatangan: _____

Tidak diperlukan kertas tambahan, tuliskan semua jawaban pada tempatnya, gunakan halaman kosong di sebalik.

1. Sebagai suatu bidang kajian, ada 2 (dua) bidang kajian Robotika. Sebutkan keduanya dan jelaskan masing-masing sehingga jelas perbedaannya.

Jawab (10 points):

2. Tuliskan definisi **ROBOT INDUSTRI** menurut RIA dalam **Bahasa Indonesia**, garis-bawahi kata-kata kunci yang penting! (10 points)

3. Ada 4(empat) macam konfigurasi robot industri ditinjau dari pola gerak dan derajat kebebasannya, yaitu (10points):

1. Konfigurasi _____
2. Konfigurasi _____
3. Konfigurasi _____ dan
4. Konfigurasi _____

4. Dilihat dari sistem penggerak-nya, ada 3 (tiga) macam sistem yang digunakan dalam industri manufaktur, yaitu: (1) Penggerak _____ (2) Penggerak _____ dan (3) Penggerak _____ (10 points)

5. Ada 4 (empat) *type* pengendalian robot, dari yang paling sederhana sampai yang paling canggih, sebagai berikut: (20 points)

<i>Type Pengendalian</i>	<i>Karakteristik</i>

6. Apa yang dimaksud dengan "*end effector*" dari suatu (lengan) robot industri?

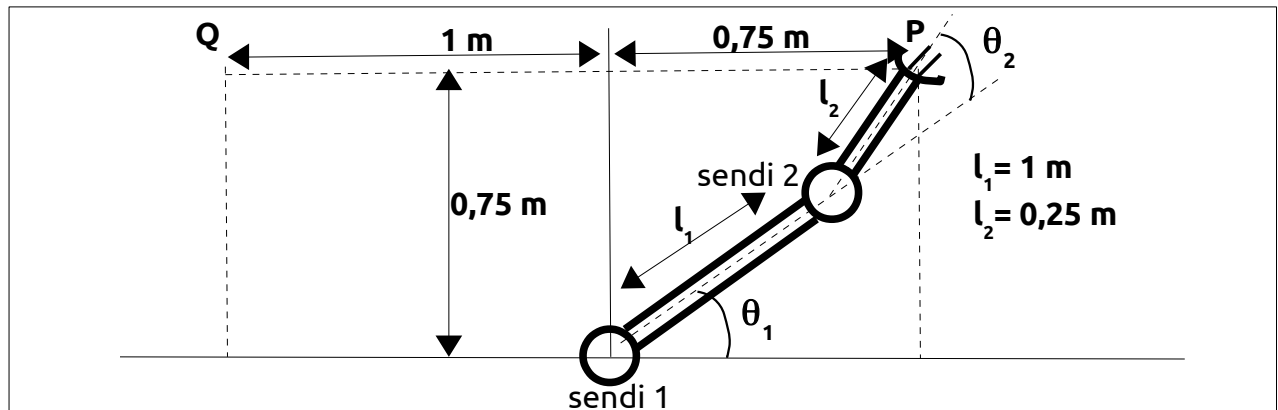
Jawab (10 points):

Nama: _____

Tandatangan: _____

Tidak diperlukan kertas tambahan, tuliskan semua jawaban pada tempatnya, gunakan halaman kosong di sebalik.

8. Tuliskan jawaban anda di bawah ini, gunakan halaman di belakang bila perlu (25 points):



Tentukan:

- Sudut θ_1 dan θ_2 (10 point) !
- Jika *end effector* akan dipindahkan dari **titik P** ke **titik Q**, tentukan berapa derajat dan ke arah mana **sendi 1** dan **sendi 2** harus diputar? (10 points)
- Bagaimana gagasan anda untuk memanfaatkan perhitungan kinematika robot di atas dalam sistem kendali sendi robot? (10 points)

Jawaban:

Nama: _____

Tandatangan: _____

Tidak diperlukan kertas tambahan, tuliskan semua jawaban pada tempatnya, gunakan halaman kosong di sebalik.

1. As a field of study, there are 2 (two) areas of Robotics. What are those two areas? Explain so that the differences of the two areas become apparent.

Answer (10 points):

2. Write down the definition of **industrial robots** according to **RIA** in **Bahasa Indonesia**, underline some important keywords! (10 points)

3. There are 4 (four) configurations of industrial robots based on their motion patterns and degrees of freedom, i.e. (10 points):

1. _____ configuration
2. _____ configuration
3. _____ configuration, and
4. _____ configuration

4. There are 3 (three) kinds of drive system used in manufacturing industries (10 points) :

- (1) _____ drive
- (2) _____ drive, and
- (3) _____ drive

5. There are 4 (four) types of robot control system, from the simplest to the most complicated, as follows: (20 points)

<i>Control Types</i>	<i>Characteristics</i>

6. What is the "end effector" of an industrial robot arm?

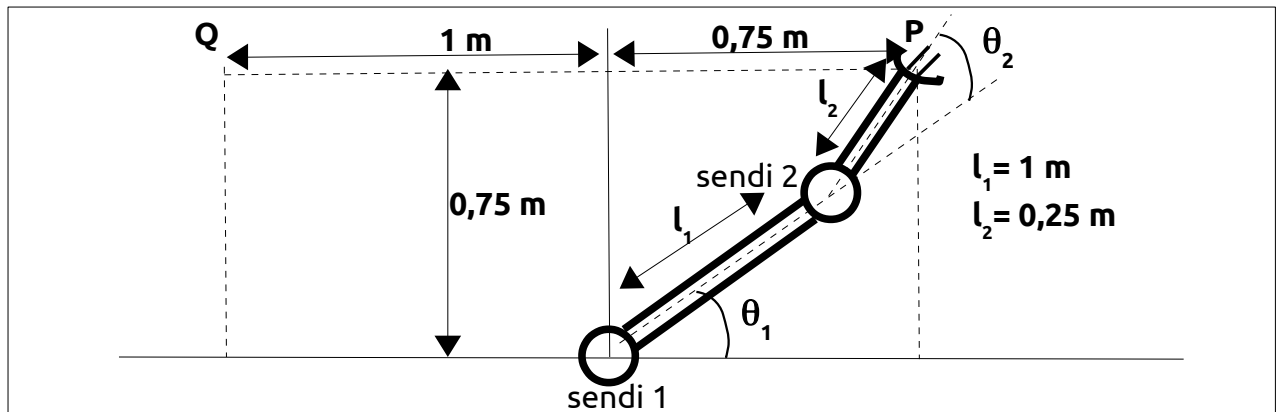
Answer (10 points):

Nama: _____

Tandatangan: _____

Tidak diperlukan kertas tambahan, tuliskan semua jawaban pada tempatnya, gunakan halaman kosong di sebalik.

8. Write down your answers on the space below, use the back pages if necessary (30 points):



- Calculate θ_1 and θ_2 (10 points) !
- If the *end effector* is moved from **P** to **Q**, what are the rotational angles of joint 1 and joint 2, and in what direction (CW or CCW) ? (10 points)
- Describe your idea to use the kinematic calculation of robot arm motion above in the robot control systems ? (10 points)

Answers: