

Saya akui bahawa saya telah membaca karya ini dan pada pandangan saya karya ini adalah memadai dari segi skop dan kualiti untuk tujuan penganugerahan Ijazah Sarjana Muda Kejuruteraan Mekanikal (Struktur dan Bahan)

Tandatangan :   
Nama Penyelia : EN. MOHD KHAIRI BIN MOHAMED NOR  
Pensyarah  
Fakulti Kejuruteraan Mekanikal  
Universiti Teknikal Malaysia, Melaka (UTeM)  
Tarikh : 8 MEI 2007

**MODEL KINEMATIK SONGSANG BAGI ROBOT KECIL BERJALAN**

**SHARIZAL BIN SULAIMAN**

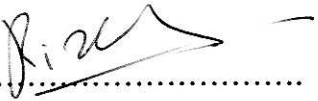
Laporan ini diserahkan kepada Fakulti Kejuruteraan Mekanikal sebagai memenuhi sebahagian daripada syarat penganugerahan Ijazah Sarjana Muda Kejuruteraan Mekanikal (Struktur & Bahan)

Fakulti Kejuruteraan Mekanikal  
Universiti Teknikal Malaysia Melaka

Mei 2007

“Saya akui laporan ini adalah hasil kerja saya sendiri kecuali ringkasan dan petikan  
yang tiap-tiap satunya saya jelaskan sumbernya”

Tandatangan

:  .....

Nama Penulis

:SHARIZAL BIN SULAIMAN

No. Matrik

:B040310139

Tarikh

:8 MEI 2007

## PENGHARGAAN

Pertama kalinya saya mengucapkan jutaan terima kasih kepada ALLAH swt kerana dengan kurnia NYA memberi kekuatan untuk saya membuat kajian dan menyiapkan laporan projek sarjana muda (PSM) saya ini. Tidak lupa juga kepada ibubapa saya yang memberi banyak sokongan moral sepanjang saya bertungkus lumus dalam menjayakan projek ini.

Jutaan terima kasih yang tidak terhingga kepada penyelia PSM saya iaitu En. Khairi yang telah banyak memberi tunjuk ajar dalam menyelesaikan tugas yang diberi. Saya juga ingin mengucapkan jutaan terima kasih kepada pihak Fakulti Kejuruteraan Mekanikal Universiti Teknikal Malaysia Melaka(FKM-UTeM), Petugas-petugas makmal kerana telah memberi sedikit ruang kepada saya untuk menimba ilmu dari hasil kajian saya ini.

Dan terakhir sekali kepada semua sahabat handai yang banyak berkongsi pengalaman dan pahit manis selama 4 tahun berada di Universiti Teknikal Malaysia Melaka (UTeM).

## ABSTRAK

Projek ini menekankan kepada kinematik songsang robot iaitu pergerakan yang tidak melibatkan jisim ataupun daya. Sebelum model kinematik songsang ini diaplikasikan, rekabentuk robot terlebih dahulu perlu dihasilkan. Rekabentuk ini dihasilkan daripada perisian SOLIDWORK. Daripada rekabentuk robot inilah pergerakan dan kestabilan dapat ditentukan.

Dalam projek ini, model kinematik songsang perlu diaplikasikan dalam rekabentuk robot untuk pergerakan robot ke hadapan ataupun ke belakang. Dalam projek ini, rekabentuk melibatkan 3 jenis rekabentuk robot yang dihasilkan, pergerakan robot ke hadapan dan pergerakan kaki robot. Untuk kinematik songsang pula melibatkan pergerakan 1, 2, dan 3 darjah kebebasan, model keseluruhan kinematik songsang dan koordinat hujung kaki robot.

## ABSTRACT

This project stress to inverse kinematics of a robot that is movement not involve mass or force. Before model inverse kinematics this apply, the design of robot need produced. This design produced from software SOLIDWORK. From this design, movement and stability can be decided.

In this project, model of inverse kinematics need to be applied in the design of robot for movement forward or backward. This design involving 3 design type of robot, forward movement and feet movement of robot. To inverse kinematics also involving movement 1, 2 , and 3 degree of freedom, overall model of inverse kinematics and tip of the feet coordinate robot.

## ISI KANDUNGAN

<b>BAB</b>	<b>PERKARA</b>	<b>MUKA SURAT</b>
<b>1</b>	<b>PENGENALAN</b>	1
	1.1 Pendahuluan	1
	1.2 Objektif Projek	2
	1.3 Skop Projek	2
 <b>2</b>	 <b>KAJIAN ILMIAH</b>	 3
	2.1 Pengenalan Robot	3
	2.1.1 Latar belakang dan sejarah robot	3
	2.1.2 Automasi dan robotik	5
	2.1.3 Anatomi robot	6
	2.1.4 Tatarajah pergerakan	7
	2.1.5 Pemilihan tatarajah	10
	2.1.6 Jenis sendi robot	11
	2.1.7 Sistem penggerak dan pacuan	14
	2.1.8 Perbandingan sistem kuasa robot	15
	2.1.9 Pengaturcaraan robot	18
	2.2 Kinematik	20
	2.2.1 Kinematik songsang	21

<b>BAB</b>	<b>PERKARA</b>	<b>MUKA SURAT</b>
	2.2.2 Kinematik songsang dalam bentuk penyelesaian Geometri	23
	2.2.3 Kinematik songsang dalam bentuk penyelesaian Algebra	25
	2.2.4 Penyelesaian kinematik songsang kaedah Geometri	27
<b>3</b>	<b>METODOLOGI</b>	<b>31</b>
	3.1 Rekabentuk Robot	31
	3.1.1 Rekabentuk pertama	31
	3.1.2 Rekabentuk kedua	35
	3.1.3 Rekabentuk terakhir	36
	3.2 Pergerakan Robot	39
	3.3 Pergerakan Kaki	41
	3.4 Model Kinematik Songsang	42
	3.4.1 Pergerakan 1 darjah kebebasan	42
	3.4.2 Pergerakan 2 darjah kebebasan	44
	3.4.3 Pergerakan 3 darjah kebebasan	47
	3.4.4 Model kinematik songsang secara Keseluruhan	52
	3.4.5 Koordinat hujung kaki	53
<b>4</b>	<b>KESIMPULAN</b>	<b>54</b>
	<b>RUJUKAN</b>	<b>55</b>



## SENARAI RAJAH

NO. RAJAH	TAJUK	MUKA SURAT
2.1 a) dan b)	Jenis robot yang digunakan	4
2.2	Anatomi robot	6
2.3	Tatarajah jenis Polar	7
2.4	Tatarajah jenis Silinder	8
2.5	Tatarajah jenis Koordinat Cartesian	8
2.6	Tatarajah jenis Lengan-sendai (Joint-arm)	9
2.7	Tatarajah jenis SCARA	10
2.8	Perwakilan pergerakan lurus	11
2.9	Perwakilan pergerakan putaran	11
2.10	Perwakilan pergerakan pihan	12
2.11	Perwakilan pergerakan pusingan	12
2.12	Perwakilan pergerakan ortogonal	13
2.13	Sistem penggerak robot	14-15
2.14	Kinematik terus dan songsang	21
2.15	Sendi prismatic	22
2.16	Lengan 2 sendi	22
2.17	Gambarajah badan bebas bagi 2 sendi	23
2.18	Gambarajah badan bebas bagi 2 sendi	25
2.19	Rajah badan bebas bagi 1 lengan	27
2.20	Rajah badan bebas bagi 2 lengan	28

NO. RAJAH	TAJUK	MUKA SURAT
3.1	8 langkah pertama pergerakan robot 6 kaki	32
3.2	Pandangan hadapan robot 6 kaki	32
3.3	Rekabentuk robot pertama	34
3.4	Pandangan sisi, hadapan dan atas robot pertama	34
3.5	Rekabentuk robot kedua	35
3.6	Pandangan sisi, hadapan dan atas robot kedua	35
3.7	Replika robot yang direkabentuk oleh Kiyoshi Kuroi dan Hidenori Ishihara	37
3.8	Animasi pergerakan reptilian	37
3.9	Animasi pergerakan replika robot	37
3.10	Rekabentuk robot terakhir	38
3.11	Pandangan hadapan, sisi dan atas robot terakhir	39
3.12	6 langkah pertama pergerakan robot ke hadapan	40
3.13	Pandangan hadapan bagi robot	41
3.14	Pergerakan kaki $l_1$ daripada pandangan atas	42
3.15	Gambarajah badan bebas bagi pergerakan kaki $l_1$	42
3.16	Pandangan atas badan robot	43
3.17	Gambarajah badan bebas bagi pergerakan badan Robot	43
3.18	Pandangan hadapan bagi kaki	44
3.19	Gambarajah badan bebas bagi pergerakan kaki $l_2$	44
3.20	Pandangan atas bagi badan robot, B dan kaki $l_1$	45
3.21	Gambarajah badan bebas bagi pergerakan badan, B dan kaki $l_1$	45
3.22	Gambarajah badan bebas bagi 3 darjah kebebasan	47
3.23	Sudut pergerakan $\theta_2$	48
3.24	Perwakilan bagi model kinematik songsang	52
3.25	Koordinat hujung kaki	53

## SENARAI SIMBOL

<b>SIMBOL</b>	<b>DEFINISI</b>
sm	sentimeter
mm	milimeter
<b>HURUF GREEK</b>	<b>DEFINISI</b>
$\theta$	Sudut pergerakan
<b>SINGKATAN</b>	<b>DEFINISI</b>
RIA	Robotics Industries Association
SCARA	Selective Compliant Articulated Robot for Assembly
DC	Direct current
<b>SUBSKRIP</b>	<b>DEFINISI</b>
x	Arah paksi x
y	Arah paksi y
z	Arah paksi z

## BAB 1

### PENGENALAN

#### 1.1 Pendahuluan

Robot merupakan sebuah mesin yang mengaplikasikan kombinasi konsep elektrik-mekanikal yang diprogramkan untuk menjalankan tugas yang tertentu bagi meringankan tugas manusia. Robot merupakan satu contoh sistem mekatronik kerana ia melibatkan secara langsung bahagian atau disiplin mekanikal, elektrik/elektronik dan kawalan komputer.

Untuk merekabentuk model robot perlu menggunakan perisian seperti SOLIDWORK, AUTOCAD dan MSC ADAM. Di dalam sesuatu rekabentuk robot, yang perlu diutamakan adalah kestabilan dan bilangan kaki robot tersebut. Jika kaki robot direkabentuk, keseimbangan robot tersebut perlu diambil kira setiap masa tidak kira pada bila masa walaupun robot tersebut berada dalam keadaan statik. Oleh sebab itu, bilangan kaki robot perlu dititikberatkan agar keseimbangan dan kestabilan bersesuaian.

Kinematik merupakan geometri pergerakan melibatkan kedudukan, halaju, dan pecutannya tanpa mengambil kira jisim atau daya yang terlibat dengan pergerakan tersebut. Terdapat dua pendekatan yang biasa digunakan di dalam menyelesaikan masalah kinematik. Pertama adalah kinematik depan atau terus

(forward or direct kinematics) dan keduanya kinematik songsang (inverse kinematics). Dalam Projek Sarjana Muda (PSM) ini, tajuk yang diberikan adalah kinematik songsang pada model robot berjalan dan kaedah yang digunakan adalah kaedah geometri kerana lebih mudah difahami.

## **1.2 Objektif projek**

Kajian berkenaan dengan robot telah dijalankan seluruh dunia semenjak berpuluh tahun yang lalu. Berbagai rekabentuk robot telah dihasilkan dengan pelbagai tujuan dan aplikasi. Tujuan projek ini ialah untuk membuat kajian berkenaan asas merekabentuk dan analisis kinematik robot dimana pengetahuan ini digunakan untuk membina robot yang sebenar.

## **1.2 Skop projek**

Skop untuk projek ini adalah:

- Merekabentuk model robot berjalan dengan menggunakan perisian SOLIDWORK.
- Melakukan analisis kinematik untuk rekabentuk robot dengan menggunakan cara kinematik songsang.
- Mengenalpasti rekabentuk yang sesuai untuk dibina.

## BAB 2

### KAJIAN ILMIAH

#### 2.1 PENGENALAN ROBOT

##### 2.1.1 Latar belakang dan sejarah robot

Perkataan robot adalah berasal daripada bahasa **Slavic** yang bererti pekerja. Ianya mula diperkenalkan oleh penulis berbangsa Czech, **Karel Capek** pada tahun 1921 dalam drama lucu R.U.R (*Rossum's Universal Robot*). Dalam drama ini robot bermaksud buruh paksa; mesinnya menyerupai manusia tetapi bekerja sekali ganda lebih kuat.

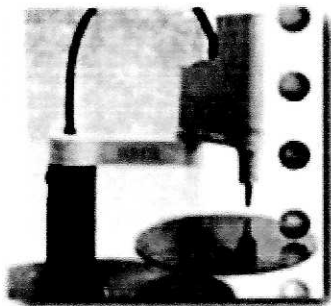
Dalam tahun 1950, **Isaac Asimov** memasyhurkan lagi nama robot dengan menulis bukunya "*I Robot*" disamping memperkenalkan beberapa peraturan yang berkaitan dengan watak robot yang menyerupai manusia. Pada kebelakangan ini, robot lebih dianggap sebagai suatu mesin yang canggih guna membantu manusia dalam melaksanakan tugas-tugas tertentu. Contoh yang ketara ialah penggunaan robot industri yang banyak terdapat di kilang automotif dan pembuatan.

Takrifan robot industri oleh **RIA** ( Robotics Industries Association ):

Terjemahannya:

*Robot industri merupakan suatu pengolah boleh diaurcara secara berulang serta mempunyai bermacam fungsi, direkabentuk untuk memindahkan bahan, barang, peralatan, atau peranti khusus menerusi pelbagai pergerakan yang diaturcara bagi melaksanakan pelbagai tugas yang diarahkan.*

Para pengkaji Jepun mula mentakrifkan robot dengan lebih umum iaitu sebagai “ *sebarang peranti yang menggantikan tenaga buruh manusia* “. Robotik adalah satu cabang sains yang melibatkan pengajian sistematik tentang robot. Kajian lebih tertumpu kepada robot yang berorientasikan aplikasi di industri perkilangan. Robot merupakan satu contoh sistem mekatronik kerana ia melibatkan secara langsung bahagian atau disiplin mekanikal, elektrik/elektronik dan kawalan komputer. Rajah 2.1 a) dan b) menunjukkan beberapa jenis robot industri yang digunakan di kilang pembuatan.



a)



b)

Rajah 2.1 a) dan b): Jenis robot yang biasa digunakan

Robot merupakan sebuah mesin yang mengaplikasikan kombinasi konsep elektrik-mekanikal yang diprogramkan untuk menjalankan tugas yang tertentu. Sesebuah robot boleh menjalankan tugas dengan sama ada dikawal secara manual oleh manusia ataupun diprogramkan dahulu oleh komputer. Sebagai contoh ‘Robotic Arm’ terlebih dahulu telahpun diprogramkan di dalam komputer dan seterusnya

maklumat tersebut disalurkan kepada robot tersebut dan robot tersebut akan menjalankan tugas mengikut arahan komputer.

Secara spesifiknya, sebuah robot boleh ditafsirkan sebagai kepintaran sebuah konsep mekanikal yang boleh melakukan tugas yang dilakukan oleh manusia. Jenis-jenis kepintaran robot ini juga banyak ditunjukkan di dalam filem-filem sains fiksi pada hari ini. Walaubagaimanapun robot tersebut boleh direalisasikan dengan adanya program penyelidikan dan pembangunan yang berterusan oleh manusia pada hari ini.

### **2.1.2 Automasi dan robotik**

Automasi dan robotik merupakan dua teknologi yang saling berkait. Dalam konteks perindustrian, automasi boleh dinyatakan sebagai teknologi yang berasaskan penggunaan system mekanikal, elektronik dan computer dalam pengendalian dan kawalan proses pengeluaran. Robotik adalah salah satu daripada komponen automasi perkilangan yang memudahkan tugas buruh manusia pada setiap peringkat dari buruh terendah sehinggalah ke jurutera professional dan pengurus pengeluaran.

Di antara contoh automasi ialah talian hantaran ( transfer line ), mesin pemasangan mekanikal, system kawalan suapbalik, mesin kawalan berangka dan robot. Oleh itu robot ialah satu bentuk automasi industri. Terdapat beberapa jenis automasi yang diamalkan dan dijelaskan sebagai berikut:

- Automasi tetap
- Automasi boleh aturcara
- Automasi boleh suai (FMS/CIM)



Robot dikategorikan sebagai automasi boleh aturcara. Robot industri merupakan mesin kegunaan am yang boleh diaturcara yang memiliki beberapa sifat manusia dan yang jelas pada hari ini ialah lengan robot.

### 2.1.3 Anatomi robot

Ianya melibatkan pembinaan secara fizikal-mesin terdiri daripada badan (*body*), lengan (*arm*) dan pergelangan (*wrist*) seperti Rajah 2.2. Kebanyakan robot dipasang tetap pada lantai. Badan dilekat pada tapak dan lengan dipasang pada badan. Pada hujung lengan ialah pergelangan. Pergelangan terdiri daripada beberapa komponen yang membolehkannya berada pada pelbagai kedudukan.

Pergerakan bandingan antara badan, lengan, dan pergelangan dihasilkan oleh sendi (*joint*). Pemasangan badan, lengan, dan pergelangan dikenali sebagai pengolah (*manipulator*). Pada bahagian pergelangan, biasanya sejenis pengesan hujung dipasang.



Rajah 2.2: Anatomi robot

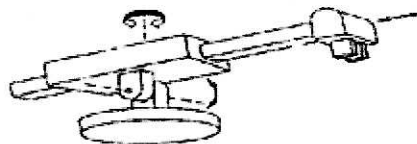
### 2.1.4 Tatarajah pergerakan

Untuk pemilihan kepada rekabentuk sesuatu jenis robot, memerlukan penelitian mengenai tatarajah pergerakan robot. Tatarajah yang biasa digunakan ialah :

- Tatarajah jenis **Polar**
- Tatarajah jenis **Silinder**
- Tatarajah jenis **Koordinat Cartesian**
- Tatarajah jenis **Lengan-sendiri (Joint-arm)**
- Tatarajah jenis **SCARA**

Tatarajah jenis Polar

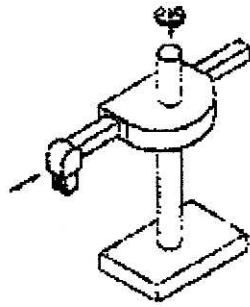
- Tatarajah ini juga dikenali sebagai tatarajah jenis sfera.
- Sendi pertama dan kedua adalah berbentuk putaran.
- Sendi yang ketiga berbentuk prisma.
- Pembolehubah sendi adalah koordinat-koordinat sfera bagi alat hujung dengan hubungan kepada dasar.



Rajah 2.3: Tatarajah jenis **Polar**

Tatarajah jenis Silinder

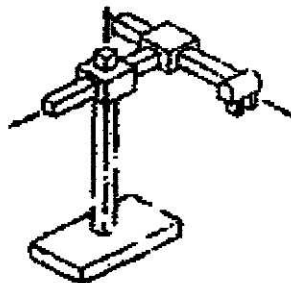
- Sendi pertama adalah putaran yang menghasilkan putaran pada dasarnya.
- Sendi kedua dan ketiga adalah prismatik.
- Pembolehubah sendi adalah koordinat silinder bagi alat hujung dengan dasar.



Rajah 2.4: Tatarajah jenis **Silinder**

#### Tatarajah jenis Koordinat Cartesian

- Manipulator dengan 3 sendi pertama yang prismatik dikenali sebagai manipulator cartesian.
- Pembolehubah sendi adalah koordinat cartesian bagi alat hujung dengan dasar. Penerangan kinematik bagi manipulator adalah paling mudah.
- Digunakan untuk aplikasi himpunan atas meja dan sebagai robot *gantry* untuk memindahkan bahan dan kargo.

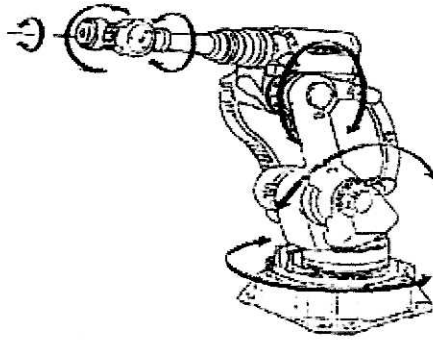


Rajah 2.5: Tatarajah jenis **Koordinat Cartesian**

#### Tatarajah jenis Lengan-sendai (Joint-arm)

- Ia juga dikenali sebagai Articulated Manipulator atau Anthromorphic Manipulator dan juga tatarajah jenis putaran (RRR). Rekabentuk robot ini menyerupai tangan manusia.

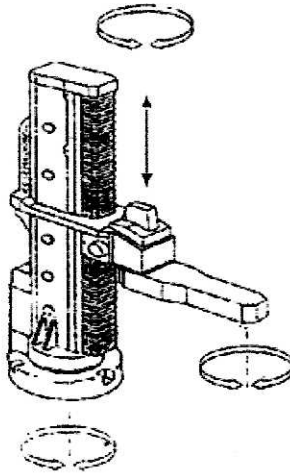
- Terdapat dua jenis rekabentuk bagi robot ini iaitu jenis sesiku seperti PUMA dan sambungan segiempat seperti Cincinnati Milacron T3 735.
- Jenis sesiku menyediakan darjah kebebasan pergerakan yang besar dan ruang yang padat.
- Sambungan segiempat selari biasanya kurang cekap tetapi mempunyai sedikit kelebihan yang membuatkan rekabentuk lebih menarik dan popular.



Rajah 2.6: Tatarajah jenis **Lengan-sendi (Joint-arm)**

#### Tatarajah jenis SCARA

- SCARA – singkatan bagi Selective Compliant Articulated Robot for Assembly.
- SCARA mempunyai dua jenis konfigurasi :-
  - ❖ sama ada joint pertama dan joint kedua berputar dengan joint ketiga yang berbentuk prisma, atau
  - ❖ Joint pertama berputar dengan joint kedua dan joint ketiga yang berbentuk prisma.
- Walaupun jenis RRP tetapi ia berbeza dengan sedikit dengan jenis polar dalam kedua – dua kemunculan dan had penggunaan
- Robot SCARA digunakan untuk operasi pemasangan.



Rajah 2.7: Tatarajah jenis SCARA

### 2.1.5 Pemilihan tatarajah

Bagi pemilihan tatarajah untuk sesuatu robot, yang perlu diutamakan adalah seperti:

- ❖ Kebolehulangan (repeatability)
- ❖ Jangkauan (reach)
- ❖ Keupayaan mengangkat
- ❖ Mengangkat beban ke ruang yang sempit tanpa halangan.

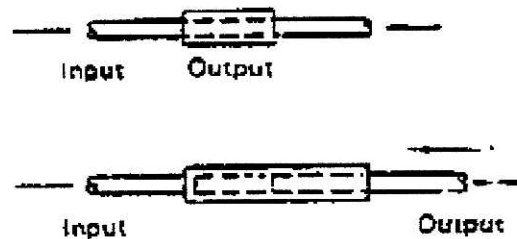
Dalam projek ini, rekabentuk yang perlu dilakukan adalah robot yang boleh bergerak dengan mempunyai 2 atau 4 kaki. Untuk pergerakan robot ini, tatarajah lengan-sendi (joint-arm) digunakan kerana:

- ❖ Terdapat 3 paksi pergerakan putaran.
- ❖ Boleh bergerak dan mencapai atas dan bawah halangan.
- ❖ Beban kerja yang banyak dan besar untuk ruang kerja yang kecil.
- ❖ 2 atau 4 cara dan laluan untuk mencapai satu titik.

### 2.1.6 Jenis sendi robot

Secara amnya, sendi mengawal pergerakan relatif antara link input dan link output. Hampir kesemua robot industri menggunakan sendi mekanikal bagi diklasifikasikan dalam salah satu daripada 5 jenis link. Ia termasuk 2 jenis pergerakan linear dan 3 jenis pergerakan putaran. Setiap sendi terdiri daripada had lingkungan untuk pergerakan. Perwakilan boleh ditunjukkan seperti berikut:-

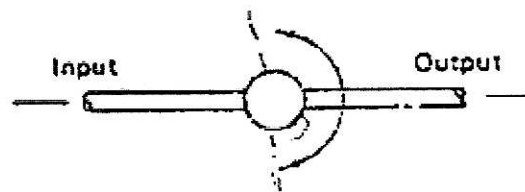
- **Pergerakan Lurus**



Rajah 2.8: Perwakilan pergerakan lurus

Pergerakan antara sendi masukan dan keluaran adalah secara linear ke kiri dan ke kanan dengan paksi kedua-dua link tersebut adalah selari

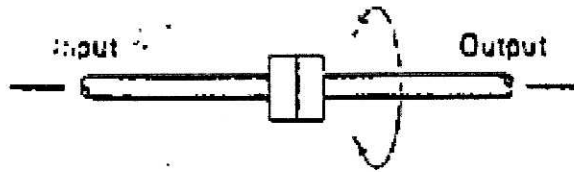
- **Pergerakan Putaran**



Rajah 2.9: Perwakilan pergerakan putaran

Pergerakan secara putaran dengan paksi putaran bersudut tepat kepada sendi masukan dan keluaran.

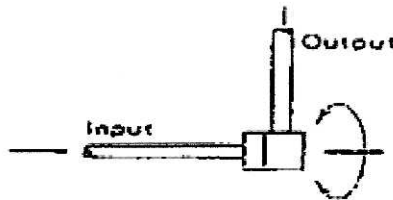
- Pergerakan **Piuhan**



Rajah 2.10: Perwakilan pergerakan piuhan

Melibatkan pergerakan putaran, tetapi paksi putaran adalah selari terhadap paksi sendi masukan dan keluaran.

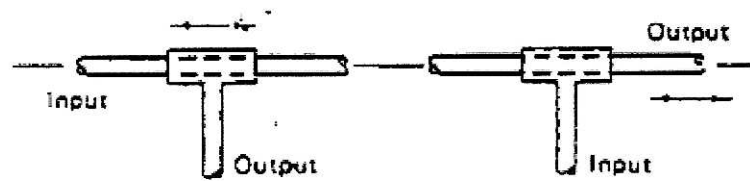
- Pergerakan **Pusingan**



Rajah 2.11: Perwakilan pergerakan pusingan

Pergerakan bagi paksi sendi masukan adalah selari kepada paksi putaran sendi dan paksi bagi sendi keluaran bersudut tepat terhadap paksi putaran.

- **Pergerakan Ortogonal**



Rajah 2.12: Perwakilan pergerakan ortogonal

Pergerakan secara linear dari kiri ke kanan dengan sendi masukan dan keluaran adalah bersudut tepat.

Setiap sendi robot digerakkan oleh sejenis benda yang membuatkan ianya bergerak yang dipanggil motor penggerak. Dalam industri robot, motor penggerak disambungkan antara satu sama lain dengan lengan robot masing-masing melalui landasan gear. Gear mempersembahkan pangenalan geseran, kerenggangan, dan kuasa landasan yang patuh. Robot yang mempunyai kuasa penuh, masalah kerenggangan, geseran dan kepatuhan dihapuskan apabila tiada gear digunakan dalam robot.

Kebiasaan kegunaan motor penggerak adalah:

- Motor Stepper
- DC Servomotor
- AC Servomotor
- Omboh Hidraulik
- Omboh Pneumatik

Pergelangan robot menunjukkan kepada sendi dalam rantaian antara lengan robot dan tangan atau peralatan. Sendi pergelangan membentuk putaran. Bergantung kepada penggunaannya, pergelangan boleh sama ada satu, dua atau tiga darjah