

PENYATUAN PENDERIA UNTUK PANDUAN ROBOTIK
(*SENSOR FUSION FOR ROBOTIC GUIDANCE*)

Oleh

Haffiz B. Johar

Disertasi ini dikemukakan kepada

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Sebagai memenuhi sebahagian daripada syarat keperluan
untuk ijazah dengan kepujian

SARJANA MUDA KEJURUTERAAN (KEJURUTERAAN MEKATRONIK)

Pusat Pengajian kejuruteraan
Elektrik dan Elektronik
Universiti Sains Malaysia

Mei 2006

ABSTRAK

Penggabungan penderia seperti deria sentuh dan penglihatan untuk robot industri adalah bertujuan untuk memacu dan mengawal pergerakan koordinasi robot secara automasi dan meningkatkan kebolehpercayaan robot serta kecekapan robot dalam melakukan kerja.

Tujuan utama projek ini adalah membina suatu sistem penderiaan yang melibatkan deria sentuhan dan penglihatan pada robot dalam memacu dan mengawal pergerakan kordinasi robot manipulator. Dalam projek ini, robot-mikro industrial *Mitsubishi Movemaster* model *RV-MI* digunakan bagi mengesan dan mengangkat telur tanpa memecahkan telur tersebut. Ini dapat dilakukan dengan memasang sistem penderiaan penglihatan dan sistem penderiaan sentuhan pada pencengkam atau *gripper* robot. Sistem penglihatan menggunakan penderia seperti kamera dipasang pada robot dan berfungsi sebagai mata kepada robot. Dengan ini kordinasi kedudukan dan maklumat-maklumat barang kerja dapat ditentukan melalui pemprosesan imej menggunakan perisian yang tertentu dan data yang dikumpul kemudian tukarkan kepada maklumat yang sesuai untuk digunakan bagi menggerakkan robot dan mengangkat barangkerja. Manakala fungsi penderia sentuhan adalah bertujuan mengawal cengkaman pada pencengkam supaya barang kerja yang lembut atau mudah pecah tidak rosak ketika proses pencengkaman terutama barangkerja seperti telur. Pencengkam perlu direkabentuk secara terperinci agar dapat mencengkam telur dengan baik tanpa memecahkan telur tersebut. Penggunaan penderia sentuhan yang sesuai juga perlu diambil kira. Komunikasi antara robot dan komputer perlu diambil berat kerana ia merupakan perkara yang paling asas dalam menggerakkan robot secara automatik melalui komunikasi sesiri perantaramuka *RS 232C*. Aturcara ditulis bagi menggerakkan robot ini dan kemudian arahan dihantar kepada robot melalui perantaramuka *RS 232C*.

ABSTRACT

The purpose sensor fusion in controlling and driving an industrial robot is to enhance robot reliability and efficiencies for automation by using touching sensing element and vision sensing element. The purpose of this project is to built a sensor systems which include touching element and vision element for controlling and driving the movement and coordination of an industrial robot Mitsubishi Movemaster model RV-M1 to pick and placed eggs without breaking them. For this pupose touch sensor and vision is attached to the robot. The coordination and other information for an object can be determined by using a certain software. The touch sensor is used to control the robot gripper without causing any harm to the eggs. The most important thing to running the robot automatically is the communication between robot and computer by using serial communication interface such as RS 232C. This communication device allow to write a command to perform a task to the robot.

PENGHARGAAN

Di sini saya ingin mengambil kesempatan menyatakan berbanyak-banyak terima kasih kepada mereka-mereka yang telah terlibat membantu saya dalam menyiapkan projek tahun akhir ini. Setinggi-tinggi penghargaan diberikan kepada Prof. Madya Mohd Zaid Abdullah yang juga selaku penyelia saya dalam projek ini kerana memberikan saya peluang menyiapkan projek ini sehingga ke akhirnya.

Begitu juga kepada rakan-rakan yang telah banyak memberikan idea-idea dalam menjalankan projek ini. Tidak lupa juga kepada juruteknik-juruteknik makmal mekatronik, En. Amir dan En. Azhar yang telah banyak membantu kerja-kerja saya di dalam makmal.

Akhir kata ,diharap projek ini dapat diteruskan dan dibaiki kelemahan-kelemahan dalam membina sistem penyatuan penderiaan robot.

ISI KANDUNGAN

	Muka Surat
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
PENGHARGAAN	iv
ISI KANDUNGAN	v
SENARAI JADUAL DAN RAJAH	viii

BAB1 PENGENALAN

1.1	Tujuan Penyatuan Penderia Dalam Panduan Robot Manipulator.....	1
1.2	Objektif dan Skop Kajian.....	2
1.3	Rangka Tesis.....	3

BAB2 TEORI DAN KAJIAN ILMIAH

2.0	Pengenalan.....	4
2.1	Teori Robotik	
	2.1.0 Pengenalan.....	5
	2.1.1 Komponen-komponen Robot Industri.....	6
	2.1.2 Darjah Kebebasan Robot dan Penyambung Robot	8
	2.1.3 Analisa Kinematik Robot.....	10
	2.1.3(a) Kinematik ke hadapan.....	11
	2.1.3(b) Kinematik Songsang.....	17
2.2	Sistem Penderiaan	19
	2.2.1 Sistem penderiaan sentuhan.....	19

2.2.2	Sistem Penglihatan Robot.....	22
2.3	Sistem komunikasi.....	25
2.3.1	Sistem Komunikasi secara selari.....	26
2.3.2	Sistem komunikasi secara sesiri.....	27
BAB3	PEMBANGUNAN PROJEK	
3.1	Pengenalan.....	28
3.2	Bahagian <i>hardware</i>	
3.2.1	Pengenalan.....	29
3.2.2	Robot industri <i>MovemasterEX</i> model <i>RV-M1</i>	29
3.2.3	Rekabentuk pencengkam (<i>gripper</i>).....	33
3.2.4	Rekabentuk Sistem Penderia Sentuhan.....	37
3.2.5	Pemasangan sistem penglihatan berkamera.....	40
3.2.6	Komunikasi Sesiri.....	41
3.2.7	Perwakilan pin <i>serial port connector</i>	42
3.3	Bahagian <i>software</i>	46
BAB4	PERMASALAHAN DAN PENYELESAIAN	
4.1	Pengenalan	49
4.2	Merekabentuk Semula Pencengkam Robot	
4.2.1	Penambahan jari pencengkam robot.....	50
BAB5	KESIMPULAN	54

RUJUKAN

LAMPIRAN A

LAMPIRAN B

LAMPIRAN C

LAMPIRAN D

LAMPIRAN E

SENARAI JADUAL

<u>Bab</u>		<u>Muka surat</u>
2	Jadual 2.1 : Jadual Perwakilan D-H	14

SENARAI RAJAH

<u>Bab2</u>		<u>Muka surat</u>
Rajah 2.1	Analogi lengan manusia dengan manipulator robot	6
Rajah 2.2	Jenis-jenis robot manipulator	10
Rajah 2.3	Perwakilan D-H bagi suatu <i>joint</i> dan <i>link</i> .	12
Rajah 2.4	Perwakilan D-H	14
Rajah 2.5	Kedudukan relatif titik P dengan satah rujukan robot 3 <i>joint</i> .	17
Rajah 2.6	Contoh penderia sentuhan.	20
Rajah 2.7	Skematik Untuk Kamera Vidicon	23
Rajah 2.8	Model pengumpulan data imej	23
Rajah 2.9	Analisa Imej dalam <i>spatial domain</i>	25
<u>Bab 3</u>		
Rajah 3.1	Sistem Kawalan Robot	30
Rajah 3.2	Panel Unit kawalan	30
Rajah 3.3	Skematik litar motor pencengkam robot.	33
Rajah 3.4	Rekabentuk pencengkam secara kasar.	34
Rajah 3.5	Litar skematik pengawal motor pelangkah unipolar	36
Rajah 3.6	Penderia sentuhan yang terdiri daripada satu lapisan getah lembut .	37
Rajah 3.7	Litar skematik penderia sentuhan	38
Rajah 3.8	Gambarajah blok kawalan Pencengkam	39
Rajah 3.9	Kad perantara-muka PCI/PXI -1411	40
Rajah3.10	Kedudukan port penyambung sesiri pada komputer.	41
Rajah3.11	<i>Serial connector port DB 9 male</i> (samada COM1 atau COM2)	42

SENARAI RAJAH

Bab3

Muka surat

Rajah 3.12 Pin *connector DB 25*

43

Rajah 3.13 Pendawaian komunikasi sesiri

45

Bab4

Rajah 4.1 Penambahan rod aluminium pada pencengkam robot

50

Rajah 4.2 Binaan asas litar pemutus untuk motor pencengkam

51

Rajah 4.3 Skematik litar pemutus untuk motor pencengkam.

52

BAB 1

PENGENALAN

1.1 Tujuan Penyatuan Penderia Dalam Panduan Robot Manipulator.

Robot merupakan suatu elemen yang terpenting dalam industri. Ia mampu melakukan pelbagai kerja yang diarahkan dengan sangat baik tanpa mengalami keletihan dan ketidaktelitian ketika melakukan kerja. Namun penciptaan robot sedemikian memerlukan pengkajian yang terperinci agar robot dapat berfungsi dengan baik seperti mana yang dikehendaki manusia dalam melakukan kerja. Dalam industri, kesensitivitan manusia sangat penting dalam mengesan kecacatan pada produk yang dihasilkan. Melalui deria seperti mata dan sentuhan manusia dapat menentukan samada suatu produk yang dihasilkan memenuhi kepuasan atau pun tidak. Sebagai contoh, dalam kerja-kerja menggredkan telur manusia perlu melakukan kerja dengan teliti serta berhati-hati agar telur-telur yang dipungut dapat digredkan tanpa memecahkan telur tersebut. Kesensitivitan deria sentuhan manusia membolehkan manusia memegang telur tanpa memecahkan telur tersebut. Begitu juga dengan robot, suatu sistem penderiaan diperlukan supaya robot dapat menyamai sifat sensitivitan seperti manusia.

Dengan ini robot dapat melakukan kerja-kerja yang memerlukan ketelitian yang tinggi seperti manusia. Namun begitu pembinaan sistem penderiaan ini perlu selaras dengan bidang kerja yang perlu dilakukan robot. Contohnya, dalam membina sebuah robot untuk tujuan pembedahan, sistem penglihatan yang cekap perlu dibina agar robot dapat melakukan pembedahan seperti seorang pakar bedah tanpa melakukan sebarang kesilapan. Terdapat juga penderia-penderia lain yang terlibat seperti penderia untuk mengawal dan mengira daya. Tanpa gabungan penderiaan pada robot, ini mungkin akan membahayakan nyawa manusia.

Tujuan utama penggabungan penderiaan ini adalah untuk meningkatkan keupayaan robot dan kebolehpercayaan robot dalam melakukan kerja-kerja yang ditugaskan oleh manusia.

1.2 Objektif dan Skop Kajian

Tujuan utama projek ini adalah membina suatu sistem penderiaan bagi mengawal robot industri *MovemasterEX* model *RV-MI* untuk applikasi mengangkat telur. Bagi tujuan ini, pencengkam robot tersebut perlu diubahsuai dan direkabentuk bagi membolehkan robot tersebut dapat mencengkam telur dengan baik. Sistem penderiaan sentuhan perlu direkabentuk dan dipasang pada pencengkam robot tersebut supaya proses pencengkaman dapat dilakukan tanpa memecahkan telur dengan menggunakan penderia yang sesuai seperti penderia sentuhan atau *touch sensor* atau sebagainya. Sistem penglihatan juga perlu dibangunkan bagi membolehkan robot dapat menentukan kedudukan orientasi dan koordinasi telur supaya robot dapat mengangkat telur dari suatu koordinasi ke suatu kedudukan yang baru.

Bagi membolehkan robot beroperasi secara automatik, robot hendaklah diaturcara dengan menggunakan perisian yang sesuai. Bagi projek ini, perisian yang digunakan bagi mengaturcara robot ini adalah menggunakan perisian *Labview*. Selain itu perisian ini juga boleh digunakan bagi memperoleh imej dari kamera untuk dianalisa dan seterusnya kedudukan relatif telur dan robot didapatkan. Maka komunikasi antara robot dan komputer perlu dibuat supaya aturcara dapat ditulis untuk menggerakkan robot. Komunikasi antara robot dengan komputer adalah melalui suatu perantaraan menggunakan perantara-muka *RS 232* dengan menggunakan komunikasi sesiri. Namun begitu disebabkan beberapa masalah, perisian *Labview* terpaksa ditukar kepada *MATLAB* bagi mengaturcara robot.

Pengkajian tentang pergerakan robot perlu dilakukan supaya pergerakan robot dari suatu koordinasi kepada suatu koordinasi yang telah diketahui dapat dilakukan dengan sempurna. Analisa ini dinamakan analisa kinematik songsang (*inverse kinematic*). Yang mana sudut setiap penyambung robot ditentukan dan kemudiannya digunakan dalam aturcara untuk menggerakkan robot tersebut pada koordinasi yang telah ditentukan.

1.3 Rangka Tesis

Bab 2 memberikan gambaran tentang teori dan kajian ilmiah dalam membangun sistem penderiaan dan analisa kinematik pergerakan robot. Kajian ini termasuklah mempelajari teori robot industri, memahami konsep penderiaan sentuhan, memahami literatur penderiaan untuk penderiaan, memahami prinsip kinematik dan gerak-kerja robot, serta binaan robot, mempelajari cara robot berkomunikasi dengan komputer dan juga memahami konsep penglihatan untuk robot.

Bab 3 mengisarkan tentang pembangunan projek. Ia terbahagi kepada 2 bahagian utama, iaitu pembangunan secara perkakasan keras atau *hardware* dan perisian atau *software*. Di sini juga dinyatakan masalah-masalah yang timbul sepanjang projek ini dibangunkan dan jalan penyelesaian diterangkan dalam bab seterusnya.

Bab 4 menyatakan jalan penyelesaian yang diambil bagi mengatasi masalah-masalah yang timbul dan penerangan serta perbincangan juga dinyatakan.

Bab 5 memaparkan keputusan dan kesimpulan yang dibuat setelah projek dijalankan. Di sini juga dinyatakan cadangan dalam membaikpulih projek yang telah dibina.

BAB 2

TEORI DAN KAJIAN ILMIAH

2.0 Pengenalan

Apabila bercerita tentang robot, kita tentunya terfikir akan bentuk dan fungsi robot seperti yang terdapat dalam filem-filem barat. Antaranya *star wars*, *robocop*, *terminator* dan banyak lagi. Jika dilihat secara kasar, rekabentuk robot tersebut dicipta berdasarkan sifat dan mimik pergerakan manusia. Humanoid atau manusia robot lebih mirip kepada bentuk dan sifat manusia. Namun dapatkah ciptaan manusia itu sendiri menyamai sifat-sifat manusia?. Sejak revolusi perindustrian, manusia berlumba-lumba mencipta pelbagai jenis robot untuk tujuan memudahkan tugas-tugas manusia dalam melakukan kerja-kerja tertentu lebih-lebih lagi dalam bidang industri pengeluaran. Pelbagai kajian dilakukan bagi meningkatkan keboleh-upayaan robot dalam melakukan kerja. Ini termasuklah mencipta pelbagai jenis penerima untuk meningkatkan kesensitivitian robot dan kepekaan robot dalam melakukan kerja.

Kini, robot sangat berguna dalam perindustrian. Ia mampu melakukan pelbagai kerja dan tugas dengan baik dan tidak memerlukan perhatian keselamatan dan keselesaan seperti-mana manusia. Namun kajian yang terperinci perlu dijalankan bagi membina robot sedemikian rupa. Peralatan tambahan perlu dipasang pada robot bagi membolehkan robot berfungsi pada tahap yang paling maksima. Antaranya hujung lengan robot dipasang dengan pencengkam yang direkabentuk khas mengikut spesifikasi tugas yang perlu dijalankan. Begitu juga dengan pemasangan sistem penerima pada robot. Suatu sistem kawalan diperlukan dibina bagi membolehkan alatan tambahan ini dapat dikawal dan dapat berfungsi dengan sempurna.

2.1 Teori Robotik

2.1.0 Pengenalan

Perkataan robot berasal dari perkataan '*robota*' yang bermaksud hamba atau pekerja kepada manusia. Manakala robotik merupakan suatu gabungan sistem yang merangkumi aspek mekanikal, elektronik, kawalan dan pengaturcaraan. Terdapat pelbagai jenis robotik dalam bidang tertentu termasuklah robot manipulator yang biasanya digunakan dalam industri.

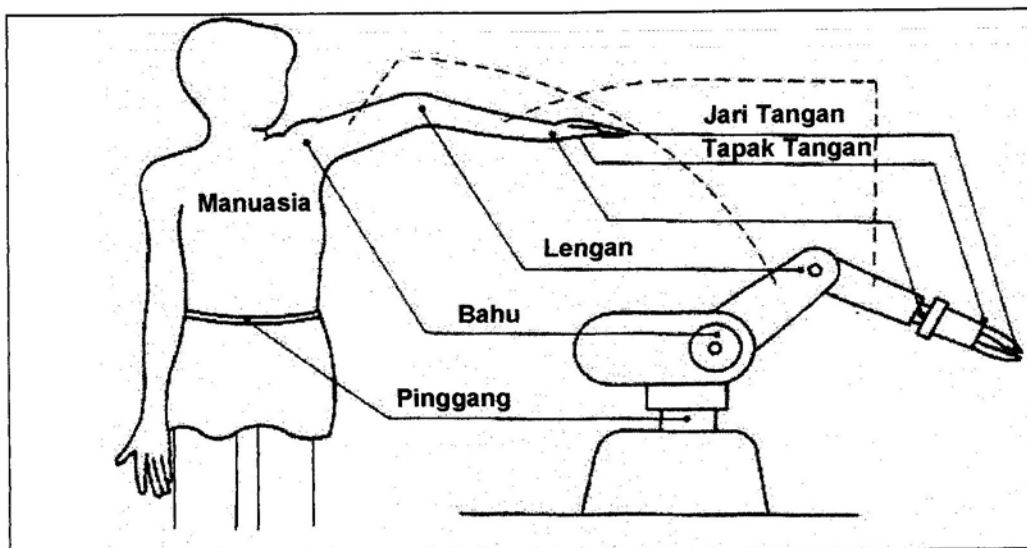
Berikut merupakan kebaikan penggunaan robot dalam bidang industri antaranya :-

- Meningkatkan produktiviti dan pengeluaran, mudah dan selamat digunakan, meningkatkan mutu dan kualiti produk.
- Mampu melakukan kerja-kerja berbahaya dan kritikal yang tidak dapat dilakukan oleh manusia seperti pengendalian bahan radiasi dan beracun.
- Mampu melakukan kerja dalam pelbagai jenis persekitaran. Tidak seperti manusia yang mementingkan keselesaan dan suasana persekitaran yang selamat.
- Robot juga mampu bekerja berulang-ulang kali tanpa mengalami keletihan dan tidak mengalami gangguan emosi seperti bosan, marah atau sebagainya.
- Robot lebih jitu dan kurang melakukan variasi seperti manusia.

2.1.1 Komponen-komponen Robot Industri

Suatu sistem robot mestilah mengandungi elemen-elemen seperti berikut, antaranya :-

Kerangka utama atau manipulator Ini merupakan binaan utama yang memberikan rupa-bentuk kepada robot. Biasanya bentuk robot ini lebih menyamai bentuk dan ciri-ciri lengan manusia seperti yang ditunjukkan dalam rajah 2.1.



Rajah 2.1 Analogi lengan manusia dengan manipulator robot

Hujung lengan (*End Effector*) Bahagian ini merupakan hujung lengan robot yang bertindak seperti jari manusia. Tanpa bahagian ini, robot tidak dapat melakukan kerja dengan baik. Biasanya bahagian ini direka bentuk mengikut jenis kerja yang perlu dilakukan oleh robot dan merupakan bahagian yang boleh dialih dan dipasang.

Penggerak(*Actuator*) Penggerak bertindak sebagai otot kepada manipulator dalam menggerakkan robot. Contoh jenis-jenis penggerak seperti motor-servo, silinder-pneumatik, hidraulik dan juga motor pelangkah atau *stepper motor* biasa digunakan dalam membina robot manipulator. Penggerak dikawal menggunakan sistem pengawal atau *controller*.

Penderia (*Sensor*) Penderia digunakan untuk mengumpul maklumat berkaitan dengan keadaan dalaman robot atau sebagai perantaraan untuk berkomunikasi dengan keadaan persekitaran robot. Robot juga biasa dibekalkan dengan deria tambahan seperti deria penglihatan, deria termal, dan juga deria sentuhan bagi membolehkan robot berkomunikasi dengan alam sekitar.

Pengawal(*Controller*) Fungsi pengawal lebih menyerupai fungsi serebelum manusia. Walaupun ia tidak mempunyai kuasa otak sepenuhnya, namun ia fungsinya mampu menggerakkan otot-otot manusia. Begitu juga dengan robot, analogi ini menunjukkan robot memerlukan suatu pengawal dalam mengawal koordinasi pergerakan robot. Pengawal akan menerima data dari komputer dan menggerakkan penggerak seperti motor-servo serta mengawal koordinasi pergerakan robot melalui sistem suap balik kepada pengawal.

Processor Processor bertindak seperti otak manusia kepada robot. Ia mengukur pergerakan lengan robot dan menentukan kelajuan dan kepantasan robot untuk bergerak menuju ke suatu koordinasi yang tertentu. Maklumat-maklumat ini kemudiannya dihantar ke sistem pengawal supaya robot dapat dijalankan seperti yang diukur. Ini memerlukan aplikasi pengaturcaraan dan perisian tertentu dalam memberikan arahan kepada robot.

Perisian (Software) Terdapat beberapa jenis kumpulan perisian yang mungkin terlibat dalam menggerakkan robot. Pertama sistem operasi (OS) yang digunakan untuk operasi komputer. Kedua perisian yang digunakan untuk menulis arahan atau tugas yang perlu dilakukan robot manakala kumpulan yang ketiga digunakan untuk berinteraksi dengan peralatan luaran atau *peripheral devices* yang dipasang pada robot seperti kamera atau sebagainya.

2.1.2 Darjah Kebebasan Robot dan Penyambung Robot

Pada lengan manusia, terdapat sendi-sendi yang menyambungkan antara tulang-tulang lengan. Contohnya tulang lengan dan bahu terdapat satu sendi. Begitu juga dengan robot, setiap rangka lengan robot terdapat titik penyambung yang menyerupai sendi manusia. Titik ini dinamakan penyambung atau *joint* robot. Setiap penyambung mempunyai paksi pergerakan tersendiri. Pada sendi yang menyambung tulang bahu dan tulang lengan manusia terdapat 3 jenis pergerakan. Pertama pergerakan lengan ke atas dan ke bawah, kedua memusingkan lengan dan terakhir menggerakkan bahu ke depan dan ke belakang. Setiap pergerakan ini dinamakan darjah kebebasan atau *degree of freedom*. Jika diperhatikan, lengan manusia mempunyai 3 penyambung (*joint*), iaitu di bahu, siku dan pergelangan tangan dan jumlah darjah kebebasan lengan manusia adalah 7. Begitu juga dengan robot, setiap robot mempunyai penyambung dan darjah kebebasan tersendiri. Biasanya robot manipulator dibina dengan 4 hingga 5 darjah kebebasan dengan 3 penyambung, ini tidaklah termasuk *end effector* kerana sifatnya yang mudah ditanggalkan dan dipasang mengikut spesifikasi operasi kerja yang perlu dilakukan.

Terdapat pelbagai jenis penyambung dan setiap satunya dibezakan mengikut ciri pergerakan yang terdapat pada penyambung, antaranya jenis pergerakan linear, putaran (*revolute*), penggelongsoran (*sliding*) atau pergerakan membentuk sferikal. Namun pergerakan jenis sferikal biasanya digunakan untuk kajian bukan untuk tujuan konvensional seperti robot manipulator. Robot manipulator biasanya dibina dengan ciri penyambung linear (prismatik) dan penyambung jenis putaran.

Dengan ciri-ciri ini, robot manipulator diklasifikasikan kepada 5 jenis, iaitu:-

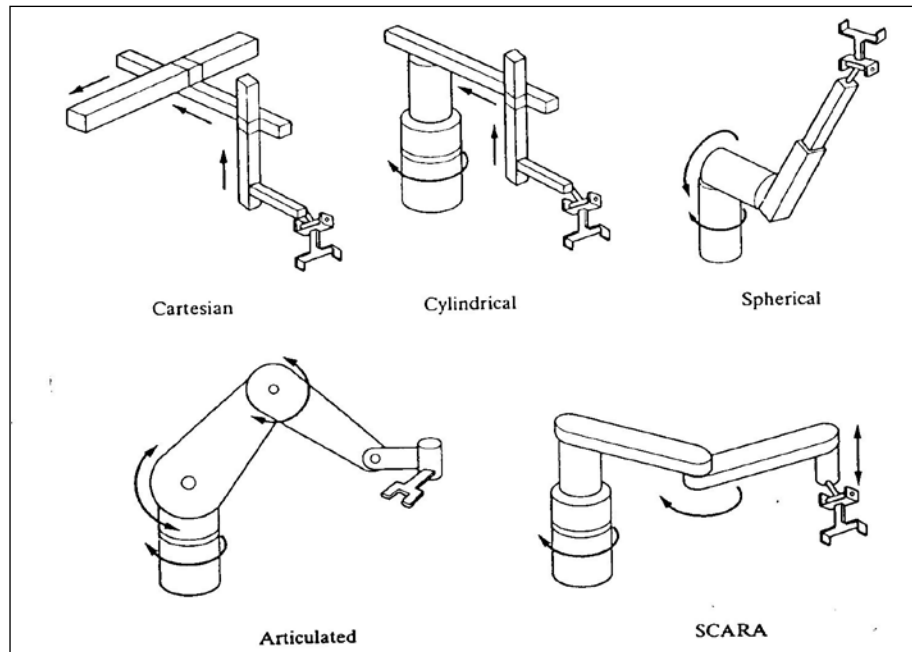
Cartesian Robot jenis ini terdiri daripada 3 penyambung jenis linear

Cylindrical Robot jenis ini terdiri daripada 2 penyambung jenis linear dan satu penyambung jenis putaran.

Spherical Robot jenis ini terdiri daripada 2 jenis penyambung jenis putaran dan satu penyambung jenis linear.

Articulated Jenis ini pula terdiri daripada 3 penyambung jenis putaran yang mana sifatnya hampir menyamai lengan manusia.

Selective Compliance Assembly Robot Arm (SCARA) Robot jenis ini mengandung 2 penyambung jenis putaran yang paksinya disusun secara selari. Ini membolehkan robot bergerak secara mendatar dan biasa digunakan dalam proses pemasangan.



Rajah 2.2 Jenis-jenis robot manipulator [1]

2.1.3 Analisa Kinematik Robot

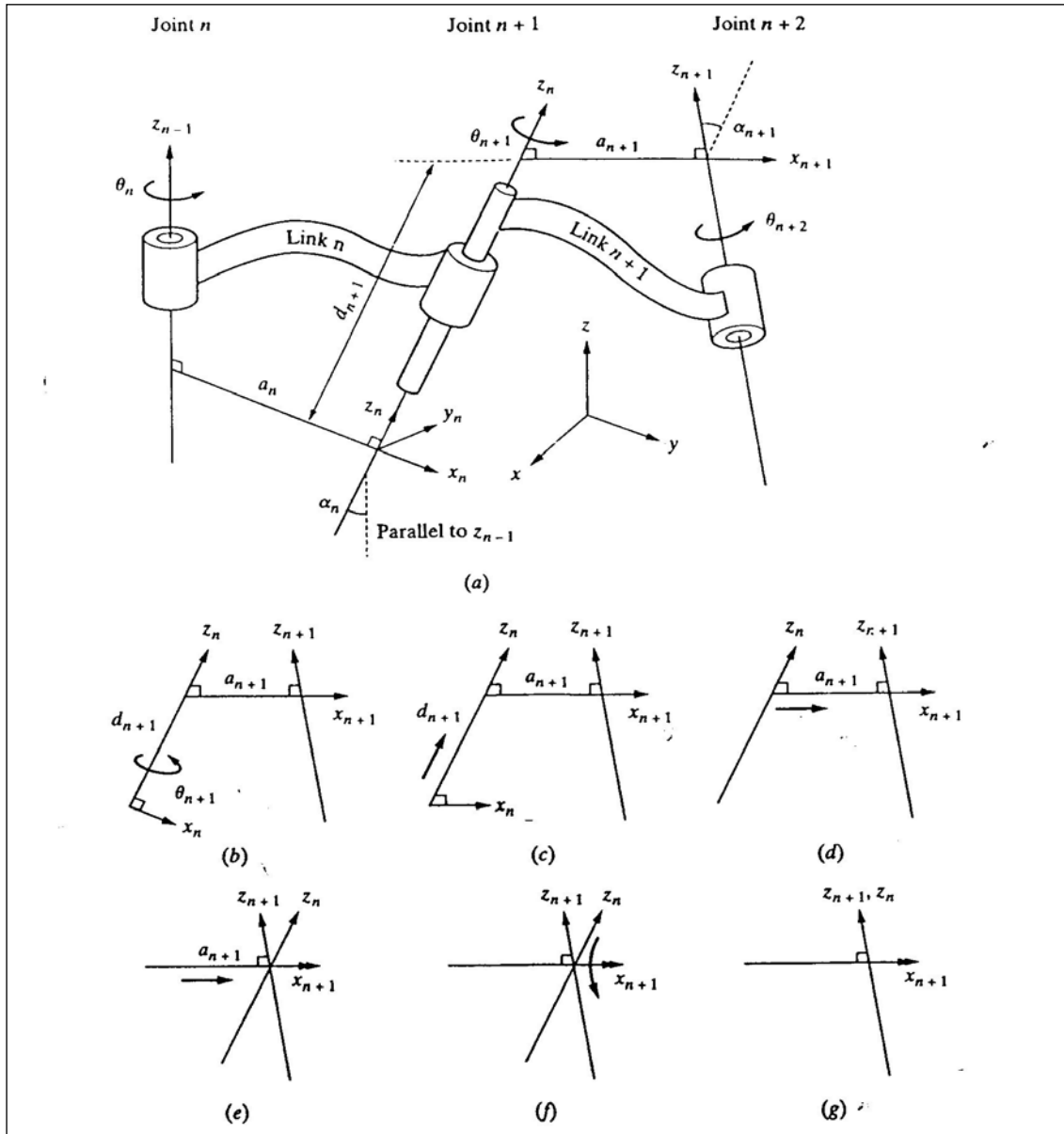
Tujuan analisa dilakukan adalah untuk menentukan koordinasi pergerakan robot dan mengkaji laluan pergerakan yang mungkin bagi robot. Analisa kinematik terbahagi kepada 2, iaitu :-

Kinematik ke hadapan (forward kinematic)	Parameter-parameter penyambung seperti sudut penyambung dan panjang lengan diketahui dan koordinasi pergerakan hujung lengan didapatkan.
Kinematik songsang (inverse kinematic)	Kedudukan koordinasi hujung lengan diketahui, dan parameter-parameter sudut putaran penyambung didapatkan.

Analisa kinematik ke hadapan dilakukan dengan menggunakan persamaan perwakilan kinematik songsang Denavit-Hartenberg (Perwakilan D-H). Persamaan yang diterbitkan kemudiannya digunakan untuk mencari parameter bagi analisa kinematik songsang.

2.1.3(a) Kinematik ke hadapan

Sebelum menerbitkan rumus kinematik ke hadapan beberapa parameter perlu didapatkan menggunakan perwakilan D-H. Andaikan terdapat sebuah robot yang terdapat 3 penyambung atau *joint* dengan 2 sambungan atau *link* seperti yang ditunjukkan dalam rajah 2.3.



Rajah 2.3 Perwakilan D-H bagi suatu *joint* dan *link*. [1]

Rajah 2.3 menunjukkan sebuah robot yang mempunyai 3 *joint* yang mana *joint* pertama diwakili dengan huruf n , *joint* kedua dengan $n + 1$, manakala *joint* ketiga dengan $n + 2$. Di antara setiap *joint* terdapat *link* yang menghubungkan setiap *joint* dan diwakili dengan

n untuk *link* yang menghubungkan *joint* pertama dan kedua manakala $n + 1$ untuk *link* yang menghubungkan *joint* kedua dan ketiga.

Dalam memodelkan robot dengan menggunakan perwakilan D-H, satah rujukan perlu ditentukan terlebih dahulu bagi setiap *joint*. Berikut merupakan prosedur dalam menentukan satah rujukan untuk setiap *joint* :-

- Setiap *joint* mewakili paksi z , jika *joint* adalah jenis putaran, paksi putaran merupakan paksi z dan arah putaran mengikut petua gengaman tangan kanan. Maka pemboleh-ubah yang perlu didapatkan adalah sudut putaran pada paksi z iaitu θ . Jika *joint* adalah jenis linear, paksi z merupakan paksi arah pergerakan linear dan pemboleh-ubah yang perlu didapatkan adalah d .
- Manakala normal paksi z merupakan paksi x , dan jarak paksi z untuk *joint* ke n dan *joint* $n + 1$ yang selari diwakili dengan panjang a_n seperti yang ditunjukkan dalam rajah 2.3

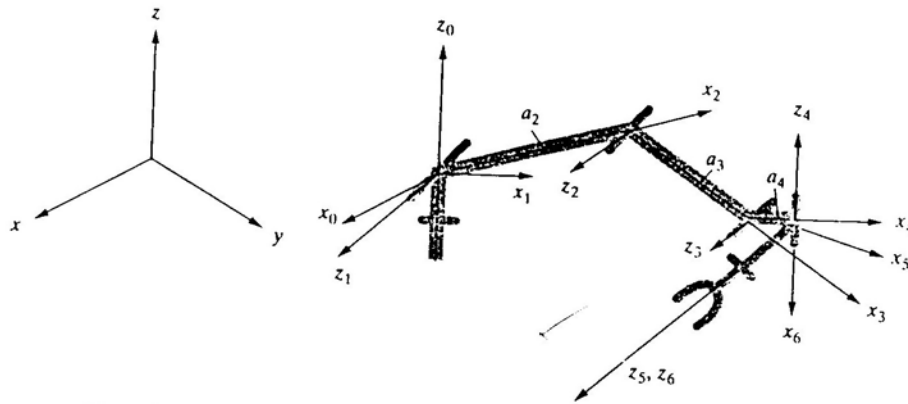
Berikut merupakan parameter-parameter pemboleh-ubah yang perlu didapatkan bagi menerbitkan persamaan kinematik ke hadapan menggunakan perwakilan D-H :-

- d_n jarak antara paksi x_n yang berselari dengan paksi x_{n+1}
- θ_n sudut putaran pada paksi z_n
- a_n jarak sesaran antara paksi z_{n-1} dengan paksi z_n atau panjang *link*.
- α_n sudut putaran dari paksi z_{n-1} ke paksi z_n pada paksi putaran x_n .

Berikut adalah langkah-langkah dalam menentukan parameter-parameter pemboleh-ubah perwakilan D-H :-

- Tentukan satah paksi x dan z pada setiap *joint*.
- Berdasarkan satah paksi x dan z, parameter-parameter pemboleh-ubah seperti $\theta, d, \alpha,$ dan a didapatkan dalam bentuk jadual perwakilan D-H.
- Dengan menggunakan matrik transformasi ,kedudukan hujung lengan robot berdasarkan kedudukan satah rujukan didapatkan dan persamaan kedudukan relatif hujung robot diterbitkan.

Andaikan terdapat sebuah robot manipulator seperti yang ditunjukkan dalam rajah 2.4 dengan 6 darjah kebebasan dan kesemua *joint* adalah jenis putaran. Langkah pertama dalam menerbitkan persamaan kinematik ke hadapan robot menggunakan perwakilan D-H adalah menetapkan satah koordinasi paksi x dan z pada setiap *joint* seperti yang ditunjukkan dalam rajah 2.4.



Rajah 2.4 : Perwakilan D-H. [1]

Langkah seterusnya mendapatkan parameter-parameter pemboleh-ubah seperti $\theta, d, \alpha,$ dan

a. Jadual perwakilan D-H kemudiannya dibuat catatkan seperti jadual 2.1

Jadual 2.1 Jadual perwakilan D-H

#	θ	d	a	α
1	θ_1	0	0	90
2	θ_2	0	a_2	0
3	θ_3	0	a_3	0
4	θ_4	0	a_4	-90
5	θ_5	0	0	90
6	θ_6	0	0	0

Kemudian matrik transformasi bagi setiap *joint* di dapatkan menggunakan rumus seperti berikut:-

$$\begin{aligned}
 A_1 &= \begin{bmatrix} C_1 & 0 & S_1 & 0 \\ S_1 & 0 & -C_1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, & A_2 &= \begin{bmatrix} C_2 & -S_2 & 0 & C_2 a_2 \\ S_2 & C_2 & 0 & S_2 a_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \\
 A_3 &= \begin{bmatrix} C_3 & -S_3 & 0 & C_3 a_3 \\ S_3 & C_3 & 0 & S_3 a_3 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, & A_4 &= \begin{bmatrix} C_4 & 0 & -S_4 & C_4 a_4 \\ S_4 & 0 & C_4 & S_4 a_4 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},
 \end{aligned} \tag{2.1}$$

$$A_5 = \begin{bmatrix} C_5 & 0 & S_5 & 0 \\ S_5 & 0 & -C_5 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad A_6 = \begin{bmatrix} C_6 & -S_6 & 0 & 0 \\ S_6 & C_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

Dengan C_1 dan S_1 mewakili $\cos \theta_1$ dan $\sin \theta_1$ dan seterusnya bagi setiap *joint* .

Dan akhir kedudukan koordinasi akhir kemudiannya diterbitkan melalui jumlah transformasi setiap *joint* seperti berikut :-

(2.3)

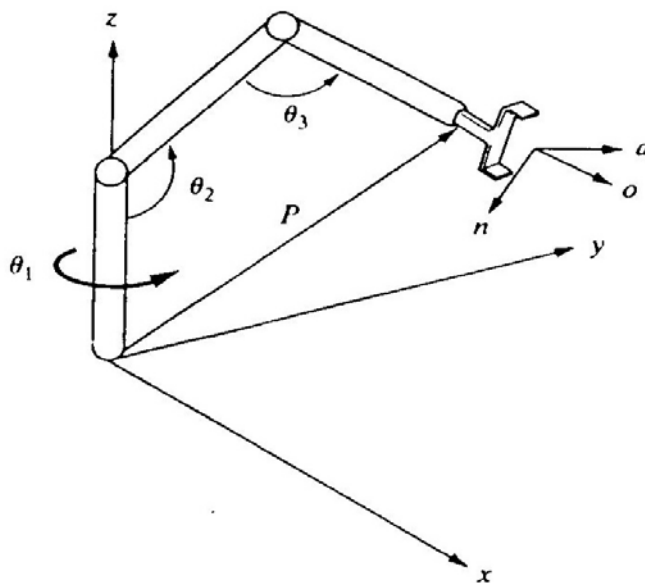
$${}^R T_H = A_1 A_2 A_3 A_4 A_5 A_6$$

$$= \begin{bmatrix} C_1(C_{234}C_5C_6 - S_{234}S_6) & C_1(-C_{234}C_5C_6 - S_{234}C_6) & C_1(C_{234}S_5) & C_1(C_{234}a_4 + C_{23}a_3 + C_2a_2) \\ -S_1S_5C_6 & +S_1S_5S_6 & +S_1C_5 & \\ S_1(C_{234}C_5C_6 - S_{234}S_6) & S_1(-C_{234}C_5C_6 - S_{234}C_6) & S_1(C_{234}S_5) & S_1(C_{234}a_4 + C_{23}a_3 + C_2a_2) \\ +C_1S_5S_6 & -C_1S_5S_6 & -C_1C_5 & \\ S_{234}C_5C_6 + C_{234}S_6 & -S_{234}C_5C_6 + C_{234}C_6 & S_{234}S_5 & S_{234}a_4 + S_{23}a_3 + S_2a_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Dengan ini kedudukan relatif hujung lengan robot (tidak termasuk *end effector*) dapat ditentukan dengan syarat sudut putaran pada setiap *joint* diketahui. Analisa ini dinamakan analisa kinematik ke hadapan. Namun begitu, dalam aplikasi robot industri, kita hanya berminat untuk menggerakkan robot ke suatu kedudukan koordinasi yang diketahui dengan menentukan sudut-sudut putaran pada *joint* robot. Analisa ini dinamakan analisa kinematik songsang. Persamaan untuk analisa kinematik songsang diterbitkan semula dari persamaan untuk analisa kinematik ke hadapan.

2.1.3(b) Kinematik Songsang

Andaikan kita ingin menggerakkan hujung lengan robot atau *end effector* robot ke suatu koordinasi titik P seperti yang ditunjukkan dalam rajah 2.5



Rajah 2.5 Kedudukan relatif titik P dengan satah rujukan robot 3 *joint* .

Rajah 2.5 menunjukkan sebuah robot dengan 3 *joint* dimana titik P boleh dinyatakan dalam matrik transformasi seperti berikut :

$${}^R T_{H_{\text{DESIRED}}} = \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & p_x \\ n_y & o_y & a_y & p_y \\ n_z & o_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (2.4)$$

Bagi robot yang mempunyai 6 derajat kebebasan, dengan menyamakan persamaan kinematik ke hadapan dengan transformasi titik P, pemboleh-ubah sudut-sudut θ untuk setiap *joint* dapat ditentukan.

Dengan menyelesaikan persamaan disebelah kiri dan kanan ,maka sudut-sudut θ untuk setiap *joint* diterbitkan. [1]

$$\begin{aligned}
 \theta_1 &= \tan^{-1}\left(\frac{p_y}{p_x}\right) \quad \text{and} \quad \theta_1 = \theta_1 + 180^\circ, \\
 \theta_{234} &= \tan^{-1}\left(\frac{a_z}{C_1 a_x + S_1 a_y}\right) \quad \text{and} \quad \theta_{234} = \theta_{234} + 180^\circ, \\
 C_3 &= \frac{(p_x C_1 + p_y S_1 - C_{234} a_4)^2 + (p_z - S_{234} a_4)^2 - a_2^2 - a_3^2}{2a_2 a_3}, \\
 S_3 &= \pm \sqrt{1 - C_3^2}, \\
 \theta_3 &= \tan^{-1} \frac{S_3}{C_3}, \\
 \theta_2 &= \tan^{-1} \frac{(C_3 a_3 + a_2)(p_z - S_{234} a_4) - S_3 a_3 (p_x C_1 + p_y S_1 - C_{234} a_4)}{(C_3 a_3 + a_2)(p_x C_1 + p_y S_1 - C_{234} a_4) + S_3 a_3 (p_z - S_{234} a_4)}, \\
 \theta_4 &= \theta_{234} - \theta_2 - \theta_3, \\
 \theta_5 &= \tan^{-1} \frac{C_{234}(C_1 a_x + S_1 a_y) + S_{234} a_z}{S_1 a_x - C_1 a_y}, \\
 \theta_6 &= \tan^{-1} \frac{-S_{234}(C_1 n_x + S_1 n_y) + C_{234} n_z}{-S_{234}(C_1 o_x + S_1 o_y) + C_{234} o_z}.
 \end{aligned} \tag{2.5}$$

2.2 Sistem Penderiaan

Bagi membolehkan robot berfungsi dengan baik, suatu sistem penderiaan ditambah pada robot. Ini termasuklah menambah sistem penderiaan sentuhan bagi mengawal cengkaman pada pencengkam atau *gripper*. Bagi membolehkan robot berfungsi secara automasi sepenuhnya, sistem penglihatan dibina dengan menggunakan penderia penglihatan seperti kamera.

2.2.1 Sistem penderiaan sentuhan

Sistem penderiaan sentuhan robot lebih mirip menyerupai sistem penderiaan sentuhan pada kulit manusia. Kulit manusia begitu unik sehinggakan manusia mampu mengesan pelbagai jenis perubahan keadaan pada persekitaran kulit. Antaranya manusia dapat mengesan perubahan suhu dengan mengesan rasa panas dan sejuk. Begitu juga tekanan daya pada kulit manusia. Dengan ini manusia dapat menafsir sekuat mana tekanan yang dikenakan pada kulit. Namun manusia tidak dapat mengukur secara tepat parameter-parameter yang terlibat dalam elemen penderiaan. Contohnya manusia dapat mengenalpasti terdapat berlaku perubahan suhu pada permukaan kulit dengan merasa panas, namun manusia tidak dapat mengukur nilai perubahan suhu yang berlaku. Berbeza dengan elemen penderiaan pada robot. Sistem sentuhan robot memerlukan pengumpulan data dalam menentukan keadaan sekeliling robot. Sebagai contoh, jika manusia mampu mengesan perubahan suhu melalui rasa panas, robot pula dapat menentukan berlaku perubahan suhu melalui pengukuran suhu ketika itu dan membandingkan dengan suatu suhu rujukan. Jika suhu semasa melebihi suhu rujukan, robot akan mengesan berlaku perubahan suhu.

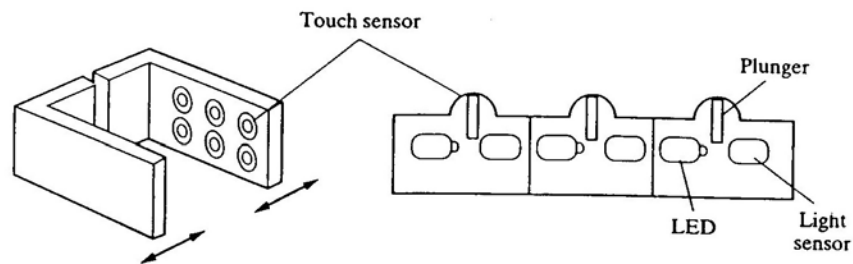
Sistem penderiaan sentuhan robot bergantung pada jenis penderia yang digunakan. Terdapat pelbagai jenis penderia yang digunakan bagi mengukur parameter-parameter tertentu seperti suhu, tekanan, daya dan banyak lagi. Antara penderia yang popular digunakan sebagai penderia sentuhan adalah penderia sentuhan atau *touch sensor*.

Penderia boleh dikelaskan kepada 2 jenis berdasarkan jenis elemen yang digunakan :-

Pasif Penderia jenis ini menggunakan elemen-elemen pasif yang mana elemen-elemen jenis ini memerlukan bekalan kuasa luar untuk membolehkan elemen penderiaan dapat memberikan isyarat keluaran. Contohnya elemen yang berintang seperti *tactile sensor, strain gauge*, elemen-elemen yang berkapasitif dan juga berinduktif.

Aktif Penderia jenis ini menggunakan elemen-elemen yang aktif yang mana elemen-elemen jenis ini tidak memerlukan bekalan kuasa untuk membolehkan elemen penderiaan berfungsi dan memberikan isyarat keluaran. Contoh elemen adalah seperti elektromagnetik dan termoelektrik.

Penderia sentuhan merupakan jenis pasif kerana ia menggunakan elemen-elemen yang memerlukan bekalan kuasa luar untuk membolehkan penderia berfungsi dan memberikan isyarat keluaran. Penderia ini akan memberikan keluaran apabila terdapat sentuhan pada permukaan penderia. Bentuk penderia sentuhan yang paling ringkas adalah mikro-suis seperti yang terdapat dalam rajah 2.6 .



Rajah 2.6 Contoh penderia sentuhan.

Selain mikro-suis elemen penderia lain juga boleh digunakan sebagai penderia sentuhan seperti *strain gauge*. Penderia ini bukan sahaja mampu bertindak sebagai penderia sentuhan, tapi ia juga boleh digunakan sebagai penderia untuk mengukur daya. *Strain gauge* diperbuat daripada bahan berintangan dan biasanya dilekatkan pada rasuk atau kerangka untuk mengukur daya yang mengakibatkan renggangan pada rasuk. Apabila rasuk terkena daya, renggangan dan pengenduran rasuk akan menyebabkan rintangan penderia berubah. Perubahan ini digunakan untuk memberikan isyarat voltan keluaran.

Bagi membolehkan penderiaan dapat berfungsi, litar jejambat wheatstone digunakan.

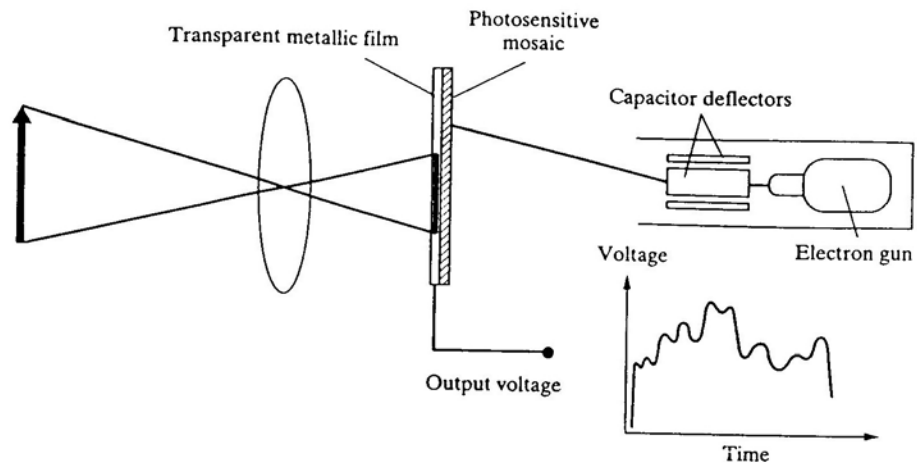
2.2.2 Sistem Penglihatan Robot

Sistem penglihatan merupakan penderia yang paling kompleks bagi robot. Ia melibatkan pemprosesan imej dan pengenalan paten. Pemprosesan imej adalah proses pengambilan dan menyimpan imej untuk di analisa. Pengambilan imej boleh dilakukan dengan menggunakan kamera atau peralatan yang mempunyai fungsi yang serupa seperti pengimbas imej yang mana maklumat imej dapat digunakan untuk di analisa.

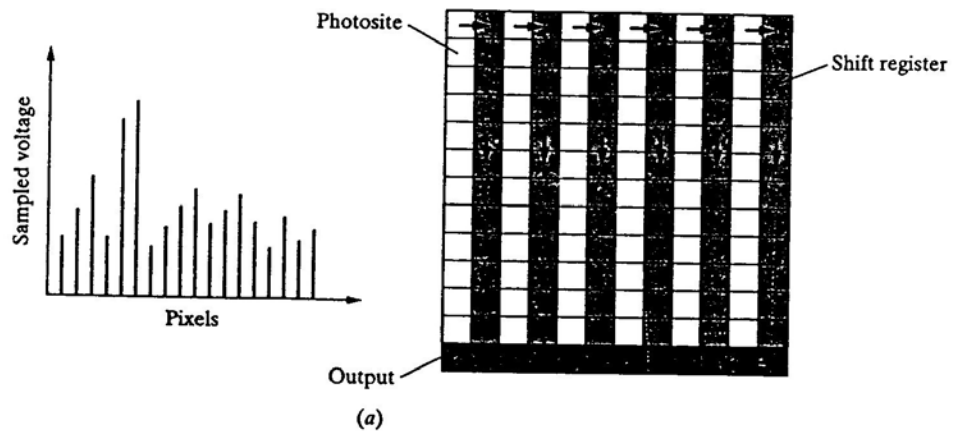
Terdapat 2 jenis kamera penglihatan :-

Analog contoh kamera analog adalah Vidicon. Ia menukarkan imej ke dalam bentuk isyarat analog seperti voltan atau arus. Rajah 2.7 menunjukkan skematik sebuah operasi penangkapan imej oleh kamera Vidicon.

Digital contoh kamera digital adalah CCD (*charge coupled device*) atau CID (*charge intergrated device*) yang mana imej disimpan dalam bentuk cas-cas pada *silicon wafer*. Setiap cas yang tersimpan disimpan membentuk piksel pada imej. Dalam satu imej kemungkinan terdapat beratus ribu piksel dan setiap satu piksel di wakili dengan satu *silicon wafer*. Jadi untuk membaca setiap piksel suatu mekanisma diperlukan agar kesemua piksel dapat dipaparkan. Teknik yang biasa digunakan adalah menggunakan kaedah anjakan pendaftar atau *shift register*. Dimana setiap cas akan menganjak sebanyak 30 kali dalam sesaat ke dalam perekod cas (pada keluaran) untuk di baca dan di analisa seperti yang ditunjukkan dalam rajah 2.8



Rajah 2.7 Skematik Untuk Kamera Vidicon



Rajah 2.8 Model pengumpulan data imej

Imej yang telah di simpan kemudiannya dianalisa menggunakan kaedah matematik. Biasanya analisa dilakukan dalam *frequency domain* dan *spatial domain*.

Bagi analisa *frequency domain*, suatu isyarat analog (*time domain*) seperti isyarat sinus atau kosinus, perlu ditukarkan ke dalam *frequency domain* terlebih dahulu dengan menggunakan kaedah transformasi siri fourier. Sebarang isyarat analog yang berkala boleh diwakili dengan persamaan fourier seperti berikut :-

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos n\omega_0 t + b_n \sin n\omega_0 t$$

$$\left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \omega_0 = \frac{2\pi}{T_0}$$

$$a_0 = \frac{1}{T_0} \int_{t_1}^{t_1+T_0} f(t) dt$$

$$a_n = \frac{2}{T_0} \int_{t_1}^{t_1+T_0} f(t) \cos n\omega_0 t dt \quad (2.6)$$

$$b_n = \frac{2}{T_0} \int_{t_1}^{t_1+T_0} f(t) \sin n\omega_0 t dt$$

Perwakilan isyarat dalam *frequency domain* digunakan untuk melabel dan mengenalpasti isyarat suara, bentuk imej, membezakan imej yang berlainan objek dan sebagainya.