


**PERSAMAAN KINEMATIK DAN DINAMIK  
UNTUK ROBOT RHINO**

**AB MALIK BIN IBRAHIM**

**MEI 2007**

“Saya akui bahawa saya telah membaca karya ini pada pandangan saya karya ini adalah memadai dari skop dan kualiti untuk tujuan penganugerahan ijazah Sarjana Muda Kejuruteraan Elektrik ( Kawalan, Intrumentasi dan Automasi ).”

Tandatangan : .....

Nama Penyelia : ..... MOHD SHAHRIEEL MOHD ARAS

Tarikh: 4 Mei 2007

**PERSAMAAN KINEMATIK DAN DINAMIK UNTUK ROBOT RHINO**

**AB MALIK BIN IBRAHIM**

**Laporan Ini Dikemukakan Sebagai Memenuhi Sebahagian Daripada Syarat  
Penganugerahan Ijazah Sarjana Muda Kejuruteraan Elektrik  
( Kawalan, Instrumentasi & Automasi)**

**Fakulti Kejuruteraan Elektrik  
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 : AB MALIK BIN IBRAHIM**

**Tarikh : 4 MEI 2007**

## **PENGHARGAAN**

Alhamdulillah syukur kepada Ilahi kerana berkat kurnianya dapat juga saya menyiapkan laporan Projek Sarjana Muda 2 ini. Saya mengambil kesempatan ini untuk mengucapkan jutaan terima kasih kepada En Mohd Sharieel B Mohd Aras kerana atas usaha beliau yang banyak memberi tunjuk ajar dan dedikasi beliau sehingga saya dapat menyiapkan laporan ini dengan jayanya. Dikesempatan ini juga saya ingin mengucapkan berbanyak-banyak terima kasih kepada rakan-rakan sekuliah yang banyak membantu dan memberi tunjuk ajar serta semangat dan tidak dilupakan juga kepada pihak-pihak UTeM yang sama memberi sumbangan dalam menyiapkan laporan ini. Wassalam.

## ABSTRAK

Projek ini adalah pengkajian tentang kinematik dan dinamik untuk robot Rhino. Projek ini juga mencari satu persamaan kinematik iaitu mencari posisi terakhir robot dan mencari sudut pergerakan bebas robot ini. Ianya akan melalui dua kaedah iaitu kaedah kinematik hadapan dan juga kaedah kinematik songsang. Projek ini juga mengira kedinamikan robot iaitu dengan menggunakan kaedah Newton-Euler. Pengiraan dinamik adalah untuk mencari daya kilas, daya, halaju dan beban dan ianya akan melalui dua kaedah iaitu kaedah dinamik hadapan dan dinamik songsang. Selain itu, projek ini juga akan menggunakan perisian Matlab untuk menguji ketepatan persamaan yang didapati daripada pengiraan menggunakan kaedah kaedah tersebut. Matlamat utama projek kinematik dan dinamik untuk Robot Rhino adalah dihasilkan untuk sebagai bantuan kepada pengguna dan khususnya kepada pelajar-pelajar UTeM yang menggunakan robot ini di dalam makmal. Dengan penyelesaian kinematik dan dinamik ini diharap dapat memberi pengetahuan mendalam kepada pengguna dalam menggunakan robot ini dengan cara yang betul.

## ABSTRACT

This project is a study about kinematics and dynamics of Rhino robot. It is also searching for kinematics similarities which are the last position of the robot and its degree of freedom (DOF). These similarities can be found through two methods which are frontal and inverse kinematical methods. Moreover, this project is considering the dynamical of Rhino, the robot, through the method of Newton-Euler. The counts of dynamic are to find torque, force, speed and burden. These things can be measured through frontal and inverse kinematical methods as mentioned earlier. Besides, this project is using software of Matlab to test the similarities that are found based on the measurement through those methods precisely. The main objective of Kinematical and Dynamic project of the robot Rhino is as a guideline for the users of the robot, particularly UTeM's students who are using it in lab. Hopefully, this project offers precise guidelines on ways of using the robot and may be very useful for the users as they will gain benefits from it.

## ISI KANDUNGAN

<b>BAB</b>	<b>PERKARA</b>	<b>HALAMAN</b>
	<b>PENGHARGAAN</b>	iii
	<b>ABSTRAK</b>	iv
	<b>ABSTRACT</b>	v
	<b>ISI KANDUNGAN</b>	vi
	<b>SENARAI RAJAH</b>	ix
	<b>SENARAI JADUAL</b>	x
	<b>SENARAI LAMPIRAN</b>	xi
<b>1</b>	<b>Pengenalan</b>	
	1.1 Objektif Projek	1
	1.2 Skop Projek	1
	1.3 Pernyataan Masalah	2
<b>2</b>	<b>Kajian Literatur</b>	
	2.0 Pengenalan	3
	2.1 Kajian pertama	3
	2.2 Kajian kedua	4
	2.3 Kajian ketiga	4
	2.4 Kajian keempat	5
<b>3</b>	<b>Latar Belakang Projek dan Teori</b>	
	3.0 Pengenalan	6
	3.1 Pengenalan Robot	6



3.2	Robot Rhino XR-3	7
3.3	Kinematik	10
3.3.1	Koordinat Homogenus dan Tranformasi matrik	11
3.4	Dinamik	16
3.4.1	Persamaan Newton-Euler	16
3.4.2	Persamaan dinamik hadapan	23
3.4.3	Persamaan dinamik songsang	24
<b>4</b>	<b>METODOLOGI</b>	
4.0	Pengenalan	25
4.1	Mengenalpasti Masalah	25
4.2	Membuat kajian terhadap robot Rhino	26
4.3	Penyelesaian persamaan kinematik dan dinamik	26
4.4	Perancangan Projek	27
<b>5</b>	<b>KEPUTUSAN DAN ANALISIS</b>	
5.0	Pengenalan kinematik	29
5.1	Kinematik hadapan	29
5.1.1	Matrik Tranformasi Homogen	30
5.1.2	Pendaraban Matrik Tranformasi Homogen	31
5.2	Kinematik songsang	33
5.3	Persamaan Dinamik hadapan	40
5.5	Pembuktian menggunakan perisian Matlab	45
5.5.1	Pengaturcaraan perisian Matlab	47
<b>6</b>	<b>KESIMPULAN DAN PERBINCANGAN</b>	
6.0	Perbincangan	49
6.1	Kesimpulan	50
6.2	Cadangan	50
	<b>RUJUKAN</b>	52

**LAMPIRAN**

53

**SENARAI RAJAH**

<b>NO</b>	<b>TAJUK</b>	<b>HALAMAN</b>
2.1	Robot Puma 560	4
3.1	Robot Rhino	8
3.2	Paksi putaran robot Rhino	8
3.3	Jarak antara sambungan robot	9
3.4	Arah pergerakan robot	9
3.5	Paksi robot	10
3.6	Sambungan revolut	10
3.7	Prismatik	11
3.8	Parameter Denavit-Hartenberg	15
4.1	Carta alir perjalanan projek	27
5.1	Kedudukan asalan robot Rhino	45
5.2	Contoh kedudukan ambil barang	46
5.3	Contoh kedudukan robot ketika meletak barang	46

**SENARAI JADUAL**

<b>NO</b>	<b>TAJUK</b>	<b>HALAMAN</b>
4.1	Perancangan projek	28
5.1	Parameter Danavit-Hartenberg	29

**SENARAI LAMPIRAN**

<b>NO</b>	<b>TAJUK</b>	<b>HALAMAN</b>
A	Persamaan halaju sudut	53
B	Persamaan pecutan sudut	56
C	Persamaan pecutan lurus	61
D	Persamaan pecutan garis lurus pada tengah sambungan	77
E	Persamaan dinamik songsang	84

## **BAB 1**

### **PENGENALAN**

Projek ini adalah untuk mencari persamaan matematik untuk menyelesaikan kinematik dan dinamik untuk robot Rhino. Persamaan ini digunakan untuk menyelesaikan masalah yang dihadapi semasa mengendalikan sesebuah robot tangan untuk menjamin kestabilan robot tanpa mengalami sebarang kerosakan terhadap robot yang digunakan. Robot Rhino ialah sebuah robot yang mempunyai 5 paksi pergerakan bebas (DOF) meliputi bahagian pinggang, bahu, lengan, siku dan bahagian pergelangan tangan.

#### **1.1 Objektif Projek**

Objektif utama projek ini adalah untuk mencari penyelesaian persamaan kinematik dan dinamik untuk robot Rhino.

#### **1.2 Skop Projek**

Skop utama projek ini adalah untuk menyelesaikan persamaan kinematik hadapan dan kinematik songsang pada robot Rhino dengan menggunakan kaedah geometri. Selain daripada itu, skop lain adalah untuk menyelesaikan persamaan dinamik iaitu dinamik hadapan dan dinamik songsang dengan menggunakan kaedah Newton-Euler serta dapat membuktikan persamaan kinematik dan dinamik dengan menggunakan perisian Matlab.

### 1.3 Pernyataan Masalah

Projek ini dibuat berdasarkan beberapa masalah yang sering timbul dan di antara masalah-masalah itu adalah disebabkan kerosakan pada bahagian-bahagian penting robot seperti motor dan pada rangka robot. Ianya terjadi akibat kecuaiannya pengguna semasa menggunakan robot ini tanpa mengambil kira sifat kinematik dan dinamik robot. Dengan mengetahui sifat kinematik, sudut pergerakan maksimum yang boleh dilakukan oleh sesebuah robot dan juga posisi terakhir yang mampu dicapai oleh robot itu akan diketahui dan dengan mengetahui dinamikanya, kita akan mengetahui beban maksimum, halaju, pecutan, daya dan tenaga yang dibuat oleh robot ini. Dengan mengetahui sifat kinematik dan dinamik ini, kerosakan pada bahagian robot mungkin dapat dielakkan sekiranya pengguna akan dapat mengetahui had penggunaan pada skala yang betul dan dapat menjaga robot terutamanya robot Rhino daripada berlaku sebarang kerosakan.

## **BAB 2**

### **KAJIAN LITERATUR**

#### **2.0 Pengenalan**

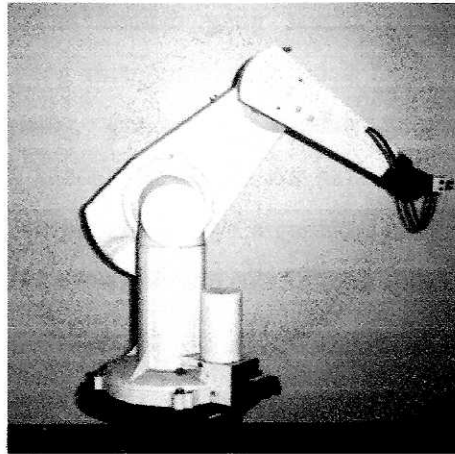
Dalam melaksanakan projek ini, kajian ilmiah dan kajian literatur adalah sangat penting bagi memastikan projek ini berjalan dengan lancar dan sempurna. Disini juga saya banyak membuat dan menganalisis tentang robot dan mempelajari tentang kes yang pernah dikaji dan antara kajian literatur yang telah saya lakukan ialah;

#### **2.1 Kajian pertama**

Kajian pertama adalah berdasarkan hasil penyelidikan Shamsuddin H.M Amin di Robotics Reserch Group, Fakulti Kejuruteraan Elektrik, UTM iaitu *A Forward Kinematics Solution for an Industrial Robotic Manipulator*.

Didalam kajian ini, projek yang dilakukan oleh beliau ialah tentang Kinematik hadapan untuk robot Puma 560 Manipulator. Kajian ini dilakukan terhadap robot yang mempunyai 6 darjah pergerakan bebas. Robot ini berbeza dengan robot Rhino dimana robot Rhino mempunyai 5 darjah pergerakan bebas.





Rajah 2.1: Robot Puma 560

## 2.2 Kajian kedua

Kajian kedua adalah tentang hasil penyelidikan Shamsudin H.M Amin-*Robotics Reserch Group*, Fakulti kejuruteraan Elektrik, UTM iaitu *A Computationally Efficient Inverse Kinematics Solution for a Six Degree-Of-Freedom Industrial Robot*.

Didalam kajian ini, projek yang dilakukan ialah terhadap robot Puma 600 Manipulator yang mempunyai 6 darjah kebebasan bergerak. Ianya adalah penyelesaian kinematik songsang untuk robot dan daripada kajian ini, penggunaan kaedah geometri adalah sesuai untuk robot yang mempunyai lebih daripada 3 darjah kebebasan tetapi kaedah aljebra juga boleh digunakan untuk sesetengah kes.

## 2.3 Kajian ketiga

Kajian ketiga adalah berdasarkan buku John J.Craig, yang berjudul *Introduction to Robotics*. Didalam buku ini, saya banyak membuat kajian dan mempelajari sistem koordinat dan pergerakannya.

Dalam buku ini juga saya telah belajar kes kajian iaitu kinematik hadapan dan songsang terhadap Robot Puma 560 manipulator yang mempunyai 6 darjah

kebebasan dan menyatakan kaedah yang sesuai yang digunakan iaitu untuk kinematik hadapan yang menggunakan kaedah Danavit-Hartenberg manakala untuk kinematik songsang, pendekatan kaedah geometri digunakan. Untuk menyelesaikan dinamik, kaedah Newton-Euler akan digunakan kerana kaedah ini adalah lebih senang dan ringkas dan ianya digunakan untuk menyelesaikan masalah dinamik untuk kebanyakan robot seperti robot Puma 560.

#### **2.4 Kajian keempat**

Kajian keempat adalah berdasarkan hasil kajian Shamsudin H.M Amin *Robotics Reserch Group* Fakulti kejuruteraan Elektrik, UTM iaitu *Computation Robot Dynamics Using Newton-Euler Dynamics Formulation* yang menunjukkan penyelesaian masalah dinamik untuk 2 darjah kebebasan iaitu menunjukkan jalan pengiraan dinamik songsang dan hadapan dengan menggunakan kaedah Newton-Euler untuk mencari tenaga dan daya kilas serta kemampuan rekacipta robot itu. Ini amat penting dalam pengiraan dinamik robot Rhino kerana kaedah yang digunakan hampir sama.

## **BAB 3**

### **LATAR BELAKANG PROJEK DAN TEORI**

#### **3.0 Pengenalan**

Dalam bab ini menerangkan mengenai latar belakang yang mempunyai kaitan dengan projek ini iaitu mengenai robot Rhino iaitu paksi pergerakan robot, dan teori untuk kinematik dan dinamik.

#### **3.1 Pengenalan Robot.**

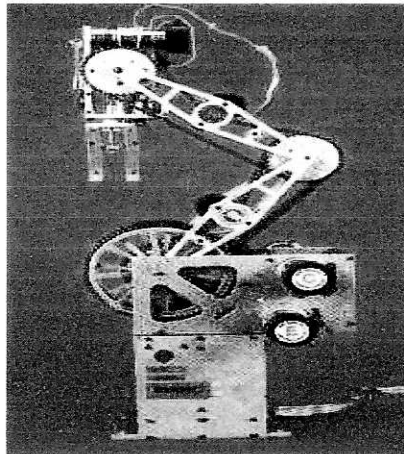
Robot industri adalah satu manipulator yang terdiri daripada beberapa sambungan yang dihubungkan dalam satu sambungan putaran atau prismatic. Salah satu hujung daripada siri gabungan ini diletakkan sebagai pusat penyokong manakala hujung-hujung yang lain adalah bebas dan dipasang dengan suatu alat untuk memanipulasikan objek atau melaksanakan tugas-tugas terkumpul, pergerakan sambungan akan menghasilkan suatu pergerakan relatif bagi penyambung. Penerangan ini akan menjelaskan analisa kinematik terhadap manipulator kawalan komputer yang terdiri daripada 5 darjah kebebasan bergerak. Masalah kinematik ini adalah berkaitan dengan kajian analitik terhadap konfigurasi ruang bagi lengan robot sebagai fungsi masa tanpa merujuk kepada kuasa dan keadaan yang menyebabkan pergerakan tersebut, dengan huraian terperinci kepada hubungan di antara ruang pembolehubah sambungan dan posisi serta orientasi bagi pergerakan terakhir lengan robot.

### 3.2 Robot Rhino XR-3

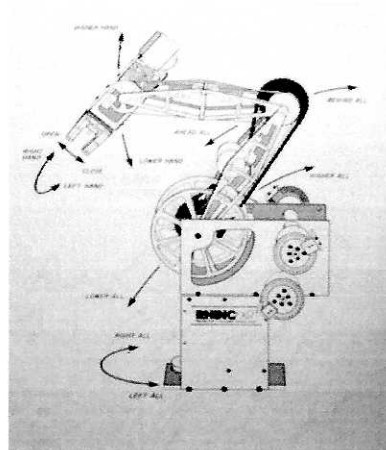
Robot Rhino ini adalah dikeluarkan oleh syarikat Rhino Robotics. Ltd dimana robot ini adalah hanya bertujuan untuk penyelidikan dan pembelajaran. Robot ini adalah sebuah robot tangan yang mempunyai sambungan sfera geometri dengan lima darjah sudut pergerakan bebas pada lengan dan pergelangan tangan. Lima paksi pergerakan termasuk putaran pada pinggang, bahu, dan siku untuk posisi pada tangan dan lengan serta putaran pergerakan pada pergelangan orientasi pencengkam. Pergerakan ini dihantar daripada motor yang mengawal paksi melalui rantai yang diletakkan pada setiap sambungan. Kadar putaran pada paksi yang dikawal oleh motor adalah dikurangkan oleh sistem gear pada motor dan sambungan diantara motor dan penyambung.

Motor yang digunakan pada robot ini adalah jenis motor arus terus dengan optik pengekod untuk mencari sudut antara sambungan dan posisi lengan. Optik pengekod ini adalah tidak dapat dilihat tetapi boleh dicari dengan memindahkan penutup pengekod pada akhir motor. Setiap pemandu motor adalah disambung secara elektrik pada pengawal robot dengan 10 kabel konduktor dimana memberikan sumber kuasa pada motor dan membawa posisi data daripada pengekod dimana 6 servo motor dan penyambung untuk mengoperasikan pencengkam menyusun pemasangan pergelangan. Pengawal pencengkam servo tidak mengakibatkan sebarang pergerakan dalam paksi pergerakan lengan. Pada Rajah 3.1 dan Rajah 3.2 menunjukkan robot Rhino dan paksi putaran robot Rhino, manakala Rajah 3.3 dan Rajah 3.4 menunjukkan jarak antara sambungan dan arah pergerakan robot untuk robot Rhino ini.

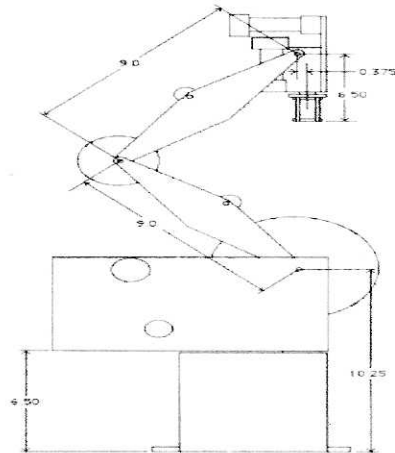




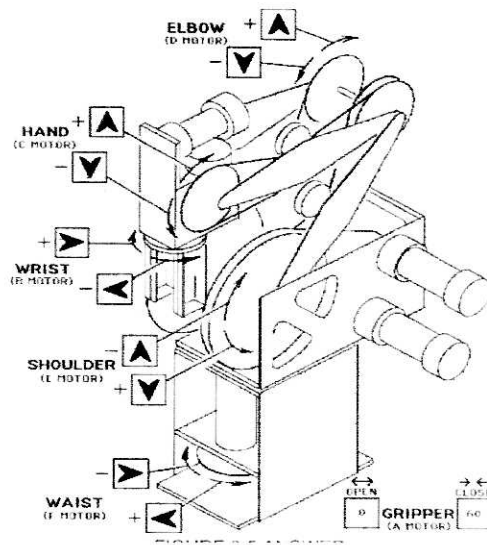
Rajah 3.1: Robot Rhino



Rajah 3.2: Paksi putaran robot



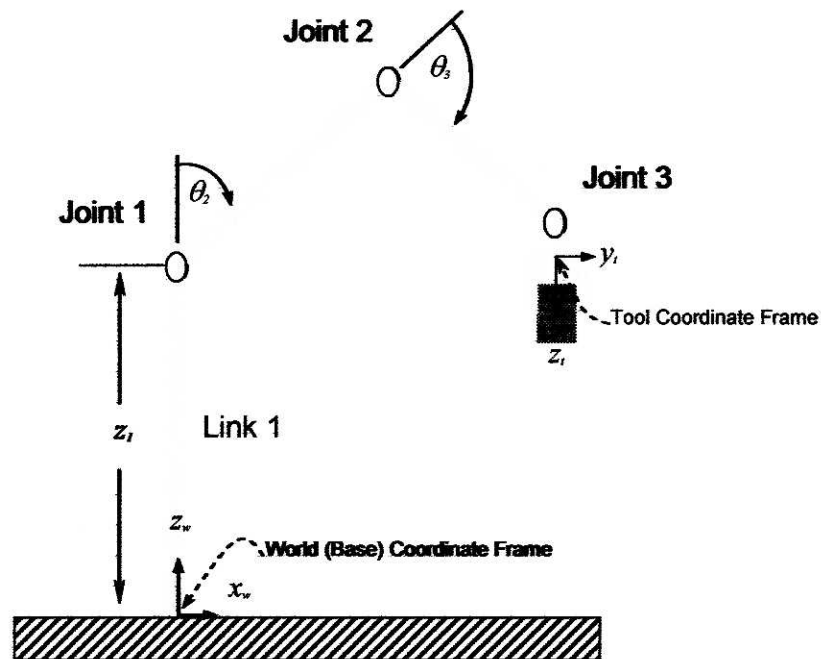
Rajah 3.3: Jarak antara sambungan



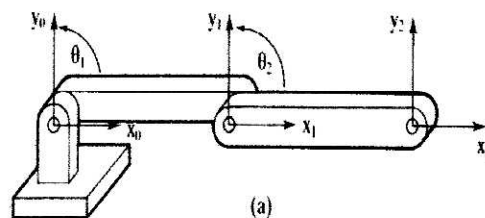
Rajah 3.4: Arah pergerakan robot

### 3.3 Kinematik

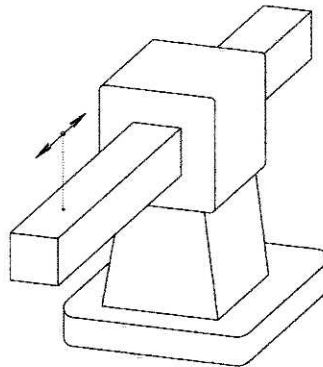
Kinematik adalah sains gerak yang mempertimbangkan gerak tanpa memerhatikan kepada kuasa-kuasa yang menyebabkan ianya berlaku. Sebuah robot amnya dari segi kinematik boleh dianggap sebagai hubungan-hubungan satu siri yang disambungkan oleh sendi-sendi seperti dalam Rajah 3.5. Banyak robot yang mempunyai sendi-sendi satu darjah kebebasan (DOF) adalah revolut ataupun prismatic seperti dalam Rajah 3.6 dan Rajah 3.7.



Rajah 3.5: Paksi robot



Rajah 3.6: Sambungan revolut



Rajah 3.7: Sambungan prismatic

Masalah kinematik biasanya terdiri daripada dua masalah iaitu masalah kinematik hadapan dan kinematik songsang. Masalah kinematik hadapan adalah untuk mencari posisi dan orientasi bagi posisi terakhir dengan merujuk kepada sistem koordinat, dengan diberikan vektor pembolehubah penyambung  ${}^*q = (q_1, q_2, \dots, q_n)^t$  bagi lengan robot dan pelbagai parameter hubungan geometri, di mana  $n$  adalah bilangan darjah kebebasan. Masalah kinematik songsang atau proses penyelesaian lengan adalah untuk mencari vektor pembolehubah sambungan  $q$  bagi posisi terakhir lengan robot pada kedudukan posisi dan orientasi yang dikehendaki, dengan diberikan posisi dan orientasi posisi terakhir kepada sistem koordinat dan pelbagai parameter hubungan geometri.

Oleh kerana pembolehubah joint pada lengan robot adalah pembolehubah bebas dan suatu pelaksanaan bebas dan suatu pelaksanaan secara umumnya berkeadaan asas atau sistem koordinat dunia, penyelesaian kinematik songsang biasanya terdapat di dalam aplikasi komputer. Kinematik hadapan memberikan hasil di dalam matrik transformasi homogenus  $4 \times 4$  di mana ia berkaitan dengan konfigurasi ruang di antara penghubung yang berhampiran.

### 3.3.1 Koordinat Homogenus dan Transformasi Matrik

Matrik transformasi homogenus amat berguna untuk mendapatkan persamaan kinematik dan menghasilkan persamaan dinamik bagi pergerakan lengan