

ANALISIS RUANG KERJA DAN GAYA STATIS ROBOT DD-1

Anwar

Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Lhokseumawe

Email : anwar_tm@pnl.ac.id

Abstrak

Robot DD-1 dirancang untuk digunakan pemindahan bahan-bahan kimia berbahaya dilaboratorium. DD-1 dirancang dengan menggunakan type SCARA (Selective Compliant Articulated Robot for Assembly). Robot ini dirancang dengan menggunakan bantuan beberapa software, sehingga dapat diperoleh hasil desain dan perhitungan yang akurat. Hasil yang diperoleh dari proses perancangan di peroleh nilai defleksi yang cukup kaku, dengan nilai defleksi maksimum 0,033407 mm tanpa beban, 0,070555 mm dengan beban dalam arah z.

Kata Kunci : Link, Joint, Gaya, Momen, Inersia, Torsi, Defleksi, Batang Puntir

PENDAHULUAN

Proses perancangan suatu alat dilihat dari bidang ilmu teknik merupakan suatu permasalahan yang sangat kompleks. Karena dalam suatu perancangan tidak cukup hanya dengan mengetahui untuk apa alat itu digunakan, tetapi aspek bentuk, gaya, kekuatan, kecepatan, dan efektifitas dari alat tersebut. Sehingga alat yang dibuat menjadi suatu produk yang memiliki kualitas daya saing yang tinggi.

Dalam penelitian ini peneliti mencoba melihat aspek gaya. Gaya pada suatu alat dipengaruhi oleh dua gaya, yaitu gaya statis dan gaya dinamis. Lebih spesifik lagi peneliti hanya melihat pengaruh gaya statis pada suatu rangka robot DD-1, sehingga kita dapat mengetahui kemampuan alat tersebut serta dapat memperbaiki kekuatannya bila belum memenuhi kebutuhan yang diinginkan. Analisa gaya-gaya statis sangatlah perlu, karena bila rangka belum mampu untuk menahan gaya statis maka untuk menerima gaya dinamis akan mengalami kegagalan, tentunya alat tidak akan bekerja sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai.

Objek yang diteliti adalah suatu rangka lengan robot DD-1 dari jenis manipulator SCARA (Selective Compliant Articulated Robot for Assembly) yang penggunaannya untuk membantu penelitian di laboratorium kimia, terutama dalam penelitian menggunakan zat-zat kimia yang dapat membahayakan kesehatan dan keselamatan

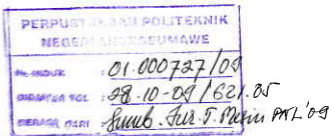
manusia. Robot DD-1 bertugas untuk untuk memindahkan dan mengatur tabung-tabung reaksi yang telah diisikan campuran-campuran bahan kimia ke tempat proses reaksi yang terisolasi dan lebih aman. Oleh karena itu untuk memperoleh kinerja alat yang stabil, gaya statis menjadi penting untuk diperhatikan.

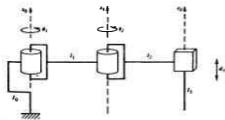
Penentuan posisi kinematika robot yang menyebabkan terjadinya gaya-gaya statis dengan mengabaikan gesekan dan getaran yang terjadi diabaikan. Dapat diperoleh hasil analisa gaya-gaya statis pada link dan joint serta momen dan puntiran (torsi) pada saat posisi lengan yang menyebabkan puntiran (torsi) lengan maksimum.

DASAR TEORI

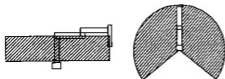
2.1. Manipulator SCARA

Selective Compliant Articulated Robot for Assembly yang biasanya disebut SCARA yang ditunjukkan dalam gambar (2-1) dan merupakan konfigurasi yang sangat populer yang sesuai digunakan untuk operasi perakitan dan pemasangan. SCARA terbentuk dari konfigurasi joint-joint *revolute - revolute - prismatic* (RRP)[1,2].





Gambar 2-1. Konfigurasi manipulator SCARA
Sumber : Spong,Mark W dan Vidyasagar,M,
Robot Dynamics and Control, hal.13

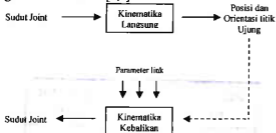


Gambar 2-2. Ruang kerja manipulator SCARA
Sumber : Spong,Mark W dan Vidyasagar,M,
Robot Dynamics and Control, hal.14

2.2. Kinematika Lengan Robot

Kinematika lengan robot merupakan studi analisis dari perpindahan geometris pada lengan robot dengan pengaruh terhadap referensi sistem koordinat sebagai suatu fungsi waktu tanpa melihat pada gaya/momen akibat perpindahan [1,2].

Kinematika lengan robot di bagi menjadi dua yaitu kinematika langsung (*direct kinematics*) dan kinematika kebalikan (*inverse kinematik*) [1,2]. Adapun hubungan kinematika langsung dengan kinematika kebalikan adalah seperti terlihat pada gambar 2-3 berikut [1,2]:

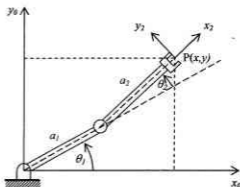


Gambar 2-3. Hubungan kinematika langsung dan kinematika kebalikan

Sumber: Fu,K.S, Gonzalez,Rafael C dan Lee,C.S.G, *Robotics : Control, Sensing, Vision, and Intelligence*, hal.14

2.2.1. Kinematika Langsung (Direct Kinematic)

Kinematika langsung (*direct kinematics*) adalah suatu mekanisme gerak yang berhubungan dengan penentuan dan orientasi posisi ujung lengan (*end-effector*) jika semua variabel telah diketahui [1,2].



Gambar 2-4. Sistem koordinat dan posisi ujung untuk robot dua link

Sumber : Spong,Mark W dan Vidyasagar,M,
Robot Dynamics and Control, hal.23

Posisi titik ujung $P(x,y)$ terhadap landasan dapat ditentukan melalui persamaan berikut :

$$[P] = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 \cos \theta_1 & a_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) \\ a_1 \sin \theta_1 & a_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) \end{bmatrix}$$

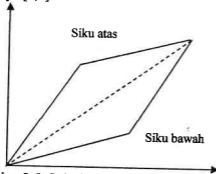
untuk perubahan sistem koordinat titik ujung dari (x_0, y_0) ke (x_2, y_2) berlaku persamaan :

$$\begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{i}_2 \cdot \hat{j}_0 & \hat{j}_2 \cdot \hat{i}_0 \\ \hat{i}_2 \cdot \hat{j}_0 & \hat{j}_2 \cdot \hat{i}_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_1 + \theta_2) & -\sin(\theta_1 + \theta_2) \\ \sin(\theta_1 + \theta_2) & \cos(\theta_1 + \theta_2) \end{bmatrix}$$

2.2.2. Kinematika Kebalikan

Kinematika kebalikan (*invers kinematic*) adalah penentuan posisi asal dari posisi akhir atau kembali ke posisi sebelumnya. Untuk mekanisme dua - batang hubung (*two-link*) mempunyai dua solusi seperti ditunjukkan dalam gambar 2-5, yaitu konfigurasi siku atas (*elbow up*) dan siku

bawah (*elbow down*) yang dapat kita pilih salah satunya [1,2].



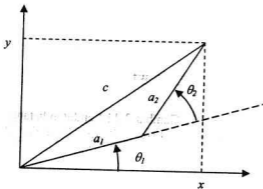
Gambar 2-5. Solusi – solusi kinematika kebalikan
 Sumber: Spong, Mark W dan Vidyasagar, M,
 Robot Dynamics and Control, hal.24

Untuk kasus seperti dalam gambar 2-7, dengan menggunakan Hukum Cosinus (*Law of Cosinus*) pada θ_2 diperoleh :

$$\cos \theta_2 = \frac{x^2 + y^2 - a_1^2 - a_2^2}{2a_1 a_2} = D$$

maka,

$$\theta_2 = \cos^{-1}(D)$$



Gambar 2-6. Penyelesaian untuk sudut joint dari sebuah lengan dua link
 Sumber : Spong, Mark W dan Vidyasagar, M,
 Robot Dynamics and Control, hal.25

Untuk $\sin(\theta_2)$ diperoleh,

$$\sin(\theta_2) = \pm \sqrt{1 - D^2}$$

sehingga,

$$\theta_2 = \tan^{-1} \frac{\pm \sqrt{1 - D^2}}{D}$$

Dari □□ dapat diketahui besarnya sudut □, yaitu :

$$\theta_1 = \tan^{-1}(y/x) - \tan^{-1} \left(\frac{a_2 \sin \theta_2}{a_1 + a_2 \cos \theta_2} \right)$$

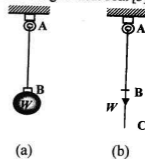
2.3. Benda Kaku (*rigid body*)

Dalam suatu perancangan struktur teknik dan komponen mesin, tidak pernah kaku secara mutlak tetapi sedikit terdeformasi (berubah bentuk) dibawah aksi dari gaya-gaya yang harus dibawanya. Perhatikan tuas yang ditunjukkan dalam gambar (2-7a) [3].



Gambar 2-7. Tuas, a) lendutan, b) dianggap kaku
 Sumber : Timoshenko, S, dan Young, D.H,
 Mekanika Teknik, hal 2.

Dalam memecahkan persoalan statika kita harus mengenal konsep dari gaya, dimana gaya dapat didefinisikan sebagai aksi yang cenderung mengubah keadaan diam pada suatu benda ke keadaan di mana gaya bekerja. Tarikan gravitasi adalah salah satu contoh yang paling umum. Sebuah bola yang tergantung pada sebuah tali (gambar 2-8a), menarik kawat dengan suatu gaya W yang sama dengan berat bola [3].

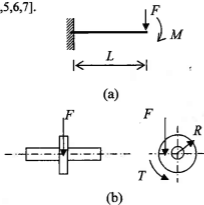


Gambar 2-8 Gaya berat pada sebuah bola yang digantung

Sumber : Timoshenko, S, dan Young, D.H,
 Mekanika Teknik, hal 2.

2.4. Momen (Torsi)

Momen atau torsi sebuah gaya adalah ukuran dari kecenderungan gaya untuk merotasikan benda terhadap sebuah sumbu tetap. Besarnya torsi atau momen adalah hasil kali gaya terhadap radius [3,4,5,6,7].



Gambar 2-9. a) Momen lentur pada batang,
b) Torsi pada poros
Sumber : Hasil perancangan

Istilah momen biasanya dikenal pada satu batang kaku yang dikenai gaya seperti pada gambar 2-9a, sedangkan torsi biasanya dikenai pada suatu batang puntir atau poros seperti pada gambar 2-9b. Momen atau torsi pada dasarnya adalah sama, hanya tempat yang berbeda. Besarnya momen atau torsi dapat diperoleh dengan rumus [3,4,5,6,7]:

$$M = F.L$$

$$T = F.R$$

Dimana :

M	=	momen
T	=	torsi
F	=	gaya
L	=	panjang batang
R	=	Radius

2.5. Defleksi

2.5.1. Defleksi panjang

Defleksi panjang adalah perubahan panjang suatu batang akibat adanya gaya tarik atau tekan pada batang tersebut [3,4,5,6,7].



Gambar 2-10 a) Gaya tarik, b) Gaya tekan
Sumber : Erick Oberg, Franklin D. Jones, Holbrook L. Horton, dan Hendry H. Ryffel, Machinery's Handbook, hal 241.

Besarnya defleksi panjang yang diakibatkan oleh gaya tarik atau gaya tekan dapat dihitung dengan rumus :

$$e = \frac{\pm FL}{AE}$$

dimana :

e = defleksi / perubahan panjang

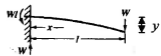
F = gaya tarik (+) / tekan (-)

L = panjang batang

A = luas penampang batang

E = modulus elastisitas

2.5.2. Defleksi beam (lendutan batang)



Gambar 2-11 Lendutan batang
Sumber : Erick Oberg, Franklin D. Jones, Holbrook L. Horton, dan Hendry H. Ryffel, Machinery's Handbook, hal 241.

Besarnya lendutan batang dapat diperoleh dengan rumus :

$$y = \frac{Wx^2}{6EI} (3l - x)$$

untuk lendutan maksimum (defleksi maksimum) adalah :

$$y = \frac{Wl^3}{3EI}$$

Dimana :

- y = lendutan batang
- W = beban / gaya
- x = jarak titik hitung
- l = panjang batang
- I = inersia batang

2.5.3. Defleksi torsional (sudut)



Gambar 2-12. Defleksi Torsional

Sumber : Bernard J. Hamrock, Bo O. Jacobson dan Steven R. Schmid, *Fundamental of Machine Element*, 152.

Defleksi torsional atau sudut diakibatkan oleh adanya momen puntir (torsi) yang memutar batang [3,4,5,6,7]. Bersarnya defleksi sudut tersebut dapat dihitung dengan rumus :

$$\theta = \frac{TL}{GJ}$$

dan

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

Dimana :

- θ = defleksi sudut (torsional)
- T = torsi
- L = panjang batang
- G = modulus geser
- J = inersia polar
- E = modulus elastisitas
- ν = perbandingan poisson

METODELOGI PENELITIAN

3.1. Tahapan Penelitian

Dalam menganalisa gaya-gaya statik mekanisme lengan robot jenis *Selective Compliant Articulated Robot for Assembly (SCARA)* dalam penelitian ini

dilaksanakan dengan metode dan tahapan sebagai berikut :

1. Melakukan telaah kepustakaan yang bersangkutan dengan kinematika lengan robot jenis *SCARA* untuk mengetahui mekanisme gerak guna mendapatkan posisi kritis lengan dimana gaya statis bekerja maksimum.
2. Melakukan telaah kepustakaan yang bersangkutan dengan analisa gaya-gaya statis.
3. Membuat diagram benda bebas untuk mendapatkan aksi dan reaksi
4. Menganalisa gaya-gaya statis Struktur / rangka sesuai diagram benda bebas.
5. Menentukan posisi lengan untuk mengetahui posisi yang memiliki momen lentur atau torsi maksimum.
6. Menganalisa defleksi pada bagian yang mengalami beban kritis.
7. Membuat tabel hasil perhitungan dengan menggunakan *Microsoft Excel*.

3.2. Peralatan yang Digunakan

Adapun peralatan yang digunakan dalam penelitian ini :

Alat :

- Personal Komputer (PC)

Software :

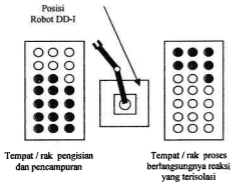
- *SolidWorks® 2001Plus*
- *Microsoft Excel*

PEMBAHASAN

4.1 Robot DD-I

4.1.1 Fungsi Robot

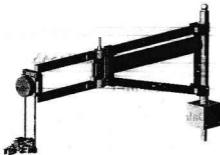
Dalam penelitian ini, lengan robot yang akan dianalisa gaya-gaya statisnya adalah lengan Robot DD-I dengan konfigurasi manipulator *SCARA (Selective Compliant Articulated Robot for Assembly)*. Robot DD-I difungsikan untuk menyusun tabung-tabung reaksi atau botol-botol yang dipindahkan dari tempat pengisian cairan kimia ke tempat berlangsungnya proses reaksi kimia yang terisolasi atau tempat penyimpanan, sehingga aman untuk kesehatan dan hal-hal yang membahayakan keselamatan manusia. Adapun proses kerjanya adalah seperti terlihat dalam gambar (4-1) berikut :



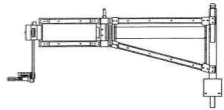
Gambar 4-1. Proses kerja Robot DD-I dalam memindahkan dan menyusun tabung-tabung reaksi
 Sumber : Hasil pemodelan dan perancangan

Sistem pemindahan tabung reaksi merupakan aplikasi dari kinematika lengan robot. Pemindahan tabung reaksi oleh robot DD-I dilakukan berdasarkan sistem pengaturan yang dikontrol oleh sebuah *personal computer* (PC) melalui antar muka (*interface*) port parallel menggunakan program kendali khusus.

4.1.2 Gambar model



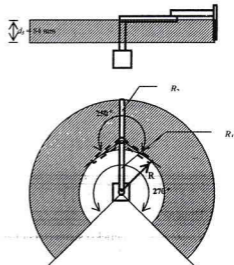
Gambar 4-2. Lengan Robot DD-I
 Sumber : Hasil pemodelan dan perancangan



Gambar 4-3. Struktur lengan Robot DD-I dalam tampak 2D
 Sumber : Hasil pemodelan dan perancangan

4.1.3 Ruang kerja Robot DD-I

Berdasarkan kinematikanya, maka Robot DD-I memiliki ruang kerja seperti terlihat dalam gambar (4-4) berikut:



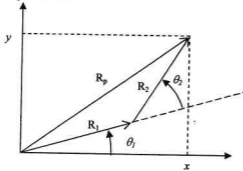
Gambar 4-4. Ruang kerja Robot DD-I
 Sumber : Hasil pemodelan dan perancangan

Dimana :

- R_1 = jarak antara joint 1 dengan joint 2
- R_2 = jarak antara joint 2 ke titik ujung
- R_p = jarak antara joint 1 ke titik ujung

Dari perancangan diperoleh $R_1 = 300$ mm dan $R_2 = 267$ mm, sedangkan R_p jaraknya berubah-ubah tergantung sudut yang dibentuk oleh R_1 dengan R_2 . Dengan menggunakan Hukum Cosinus (Law

of Cosinus). Penyelesaiannya dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 4-5 Vektor posisi untuk mendapatkan R_p
 Sumber : Hasil pemodelan dan perancangan

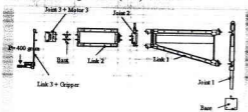
$$R_p = \sqrt{R_1^2 + R_2^2 + 2R_1R_2 \cos \theta_2}$$

Untuk posisi lurus atau panjang maksimum, $\theta_2 = 0$, ($\cos \theta_2 = 1$):

$$R_p = R_1 + R_2$$

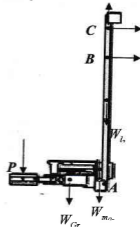
4.2 Analisa gaya-gaya statis

Untuk mendapatkan gaya-gaya statik pada link dan joint, struktur rangka dari lengan robot dipisahkan menjadi beberapa bagian seperti terlihat dalam gambar (4-6) berikut :



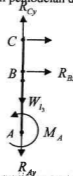
Gambar 4-6 Pemisahan link dengan joint dan diagram gaya
 Sumber : Hasil pemodelan dan perancangan

Gaya pada link 3

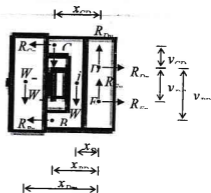


Gambar 4-7. Diagram gaya pada link 3 dengan gripper

Sumber : Hasil pemodelan dan perancangan

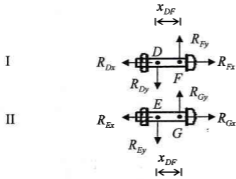


Gambar 4-8. Diagram benda bebas link 3
 Sumber : Hasil pemodelan dan perancangan
 Joint 3 + Motor 3



Gambar 4-9. Gaya-gaya pada joint 3
 Sumber : Hasil pemodelan dan perancangan

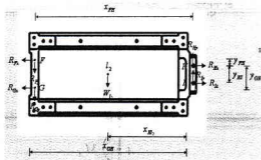
Baut sambungan antara joint 3 dengan link 2



Gambar 4-10. Gaya-gaya pada baut sambungan joint 3 dengan link 2

Sumber : Hasil pemodelan dan perancangan

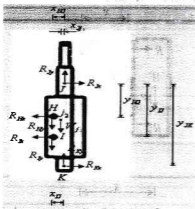
Link 2



Gambar 4-11. Gaya-gaya pada link 2

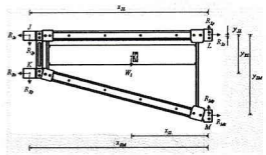
Sumber : Hasil pemodelan dan perancangan

Joint 2



Gambar 4-12. Gaya-gaya pada joint 2

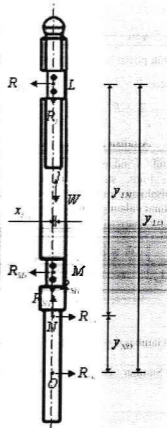
Link 1



Gambar 4-13. Gaya-gaya pada link 1

Sumber : Hasil pemodelan dan perancangan

Joint 1

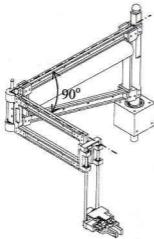


Gambar 4-14. Gaya-gaya pada joint 1

Sumber : Hasil pemodelan dan perancangan

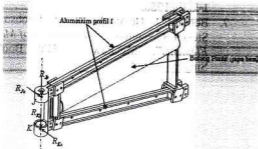
Puntiran pada link 1

Momen puntir pada link 1 akan mempunyai nilai maksimum pada posisi sudut putar link 2 sebesar 90° terhadap link 1. Sehingga besarnya momen puntir pada kondisi tersebut dapat digambarkan sebagai berikut :



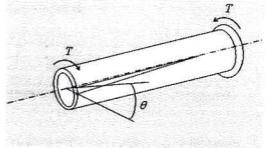
Gambar 4-15. Posisi lengan saat terjadi puntiran maksimum pada link 1

Sumber : Hasil pemodelan dan perancangan



Gambar 4-16. Gaya pada link 1 saat terjadi puntiran maksimum

Sumber : Hasil pemodelan dan perancangan



Gambar 4-17. Defleksi sudut pada batang puntir

Sumber : Hasil pemodelan dan perancangan

Dari persamaan defleksi sudut :

$$\theta = \frac{TL}{GJ}$$

diperoleh ;

1) Defleksi sudut tanpa beban

$$\theta = \frac{(8,084440 \text{ Nm})(0,247 \text{ m})}{(6959968253,968 \text{ kg/m}^2)(4,00215 \text{ E} - 08 \text{ m}^4)}$$

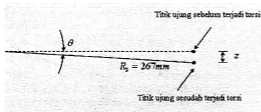
$$\theta = 0,007168790^\circ$$

2) Defleksi sudut dengan beban

$$\theta = \frac{(17,074267 \text{ Nm})(0,247 \text{ m})}{(6959968253,968 \text{ kg/m}^2)(4,00215 \text{ E} - 08 \text{ m}^4)}$$

$$\theta = 0,015140422^\circ$$

Akibat adanya defleksi sudut tersebut, ujung lengan akan turun posisinya, dengan asumsi bahwa link 3 defleksi = 0, maka penurunan posisi ujung lengan oleh puntiran pada link 1 adalah seperti ditunjukkan pada gambar (4-20) berikut :



Gambar 4-18. Defleksi ujung lengan akibat torsi pada link 1

Sumber : Hasil pemodelan dan perancangan

Besarnya penurunan posisi ujung lengan (z) adalah :

a. kondisi tanpa beban

$$\theta = 0,007168790^\circ$$

$$z = R_0 \sin \theta = 0,267 \text{ m} * \sin(0,007168790^\circ)$$

$$z = 0,000033407 \text{ m} = 0,033407 \text{ mm}$$

b. kondisi dengan beban

$$\theta = 0,015140422^\circ$$

$$z = R_0 \sin \theta = 0,267 \text{ m} * \sin(0,015140422^\circ)$$

$$z = 0,000070555 \text{ m} = 0,070555 \text{ mm}$$

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari analisa gaya-gaya statis dan puntiran pada lengan Robot DD-I dengan menggunakan mekanika teknik dapat dibuktikan dan disimpulkan beberapa hal, yaitu :

1. Dalam analisa gaya-gaya statis suatu benda, gaya-gaya yang bekerja adalah setimbang ($\sum F = 0$).
2. Bila suatu benda diberikan gaya aksi sebesar F , maka benda tersebut akan memberikan reaksi sebesar F juga untuk mempertahankan keseimbangannya.

3. Besarnya torsi pada suatu batang sangat dipengaruhi oleh besarnya gaya yang bekerja dan besarnya radius terhadap sumbu putar.
4. Semakin besar modulus elastisitas (E) bahan, maka semakin kecil defleksi sudut yang terjadi.
5. Semakin besar gaya yang bekerja pada torsi atau semakin besar torsi maka semakin besar defleksi sudut yang dibentuk.

DAFTAR PUSTAKA

1. Spong, Mark W dan Vidyasagar, M, "Robot Dynamics and Control", John Wiley & Sons, Inc., New York, 1989.
2. Fu, K.S, Gonzalez, Rafael C dan Lee, C.S.G, "Robotics : Control, Sensing, Vision, and Intelligence", McGraw - Hill Book, Co., New York, 1987.
3. Timoshenko, S, dan Young, D.H, "Mekanika Teknik", Edisi ke-4, Erlangga, Jakarta, 1982.
4. Erick Oberg, Franklin D. Jones, Holbrook L. Horton, dan Hendry H. Ryffel, 2000, "Machinery's Handbook", Edisi ke-26, Industrial Press Inc., New York.
5. Popov, E.P, "Mekanika Teknik", edisi ke-2, Erlangga, Jakarta, 1984
6. Shigley, J.E dan Mitchell, L.D, "Perencanaan Teknik Mesin", Jilid 2, Erlangga, Jakarta, 1986.
7. Bernard J. Hamrock, Bo O. Jacobson dan Steven R. Schmid, "Fundamental of Machine Elements", McGraw - Hill Book, Co., Singapore, 1999.