

Pengendalian Lintasan *End-effector* Robot Lengan dengan Pendekatan *Geometric-based Kinematics*

Seif Nura Urfin NIM. 0810630093

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

E-mail: seif_control@yahoo.com

Pembimbing;

1) Aziz Muslim, ST., MT., Ph.D 2) Ir. Bambang Siswoyo, MT

Abstrak— Penggunaan robot di industri semakin meningkat dari waktu ke waktu untuk menangani berbagai tugas. Diantara robot yang sering digunakan dalam dunia industri adalah robot lengan. Robot lengan diharapkan dapat diprogram ulang secara fleksibel oleh pengguna maka kita membutuhkan antarmuka antara robot lengan dengan pengguna melalui komputer. Penggunaan metode *invers/forward* pada robot lengan akan sangat memudahkan perhitungan posisi dan orientasi *end-effector*. Pada metode *invers kinematic* menggunakan analisa geometri untuk mendapatkan solusi posisi dari *end-effector*. Peralatan yang digunakan motor servo, robot lengan, mikrokontroler ATmega 168, kabel komunikasi serial RS232 to USB. Hasil pengujian yang kami lakukan pengujian *forward kinematic* terdapat penyimpangan yang cukup kecil (0.03 - 0.1 cm) pada sumbu x dan pada sumbu y memiliki penyimpangan yang cukup besar (± 1 cm). Pada pengujian *invers kinematic* terdapat penyimpangan yang cukup kecil (± 0.5 cm) pada sumbu x dan pada sumbu y memiliki penyimpangan yang cukup besar (± 1.5 cm).

Kata Kunci— Robot lengan Dagu hi-tech, ATmega 168, *invers kinematik*, *forward kinematik*

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan robot di industri semakin meningkat dari waktu ke waktu untuk menangani berbagai tugas. Diantara robot yang sering digunakan dalam dunia industri adalah robot lengan. Robot lengan diharapkan dapat diprogram ulang secara *fleksible* oleh pengguna, sehingga kita membutuhkan antarmuka antara robot lengan dengan pengguna melalui komputer. Dengan adanya antarmuka tersebut diharapkan robot lengan akan lebih mudah diprogram ulang sesuai kebutuhan.

Salah satu metode yang digunakan untuk pengontrolan robot lengan adalah metode *invers kinematik*. Metode *invers kinematik* memiliki keunggulan dalam ketelitian perhitungan posisi dan orientasi *end-effector*.

1.2 Rumusan Masalah

Perumusan masalah dari latar belakang yang telah dipaparkan adalah sebagai berikut:

1. Menerapkan metode *inverse* kinematik untuk menggerakkan robot pada posisi yang kita inginkan.
2. Bagaimana kinematik (*forward* dan *invers*) dari robot lengan yang digunakan untuk memindahkan barang dari satu tempat ke tempat yang lain.

1.3 Batasan Masalah

Dalam penulisan skripsi ini terdapat batasan masalah sebagai berikut

1. Robot lengan yang digunakan adalah “*Six-servo robot arm DAGU Hi-Tech electronic*”, dengan kontrolernya adalah ATmega 168.
2. Aktuator yang digunakan untuk mengubah posisi lengan menggunakan motor DC servo.
3. Berat benda cukup ringan dan berbentuk bola sehingga tidak memerlukan orientasi pada *end-effector*.

1.4 Tujuan

Tujuan skripsi ini adalah merancang antarmuka sistem kendali pada robot lengan menggunakan mikrokontroler Atmega 168 dan Visul Basic 6.0 menggunakan metode *invers* kinematik, dimana robot lengan nantinya akan mengambil sebuah benda untuk dipindahkan.

II. METODOLOGI

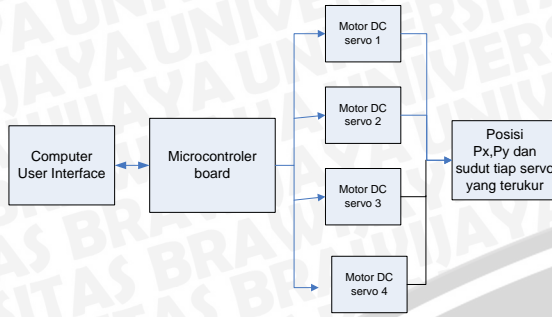
Untuk menyelesaikan rumusan masalah dan merealisasikan tujuan penelitian yang terdapat di bab pendahuluan maka diperlukan metode untuk menyelesaikan masalah tersebut. Metode yang digunakan dapat diuraikan sebagai berikut :

- Studi Literatur
- Perancangan dan Pembuatan Program
- Pengujian Hasil
- Penarikan Kesimpulan

III. PERANCANGAN DAN PEMBUATAN PROGRAM

3.1 Prinsip kerja robot lengan

Robot lengan enam DOF (*degree of freedom*), namun disini kami memanfaatkan tiga DOF dan *end-effector* untuk kita terapkan metode *forward* dan *invers kinematic*



Gambar 3.1 Blok diagram hardware

Pada Gambar 3.1 adalah blok diagram perangkat keras dan lunak terdapat. Komputer sebagai antarmuka dengan pengguna, pengguna dapat menggunakan dua metode yaitu *forward kinematic* dan *invers kinematic*, Mikrokontroler yaitu sebuah modul mikrokontroler Atmega 168 yang memiliki fungsi sebagai driver untuk mengatur posisi motor servo, motor servo sebagai aktuator penggerak *end-effector*. Posisi *end-effector* kita lihat berdasarkan papan penunjuk koordinat *end-effector*.

3.2 Deskripsi frame robot lengan

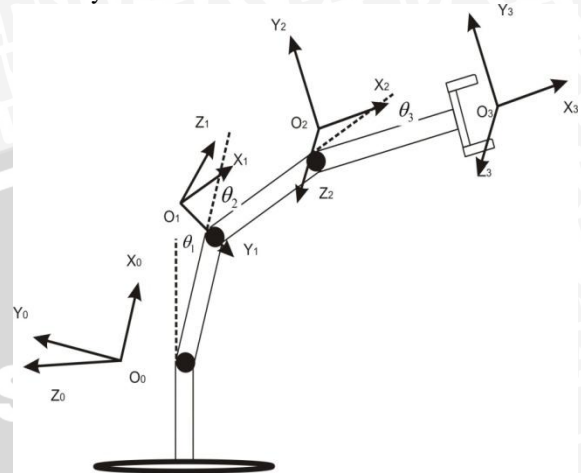
Pada robot *Six-servo robot arm DAGU Hi-Tech electronic* memiliki 6 derajat kebebasan dan penjepit (*end effector*). Bagian-bagian pada robot lengan diantaranya batang-batang logam yang berfungsi sebagai link, lima buah motor DC Servo yang berfungsi sebagai aktuator dan sebuah penjepit yang berfungsi sebagai *end effector*. Pengendalian lengan dibantu dengan suatu sistem mikrokontroler dan PC sebagai *interface*.



Gambar 3.2 Mekanik Robot DAGU Hi-Tech

Setiap *link* diberi nomor dimulai dari bagian *basement* yang tidak bergerak. *Basement* disebut *link 0*. Batang yang bergerak dan berhubungan dengan *basement* disebut *link 1*. Batang yang bergerak dan berhubungan dengan *link 1* disebut *link 2* dan seterusnya. Antara *link* yang satu dengan *link* tetangganya dihubungkan dengan *joint*. *Joint i+1*

adalah *joint* yang menghubungkan *link i* dengan *link i+1*. *Frame* merupakan sistem koordinat yang menggambarkan posisi sebuah *link* relatif terhadap *link* lainnya. Sistem koordinat ini melekat pada *link*. Penomoran *frame* sesuai dengan penomoran *link* yang dilekatinya.



Gambar 3.3 Pendeklarasian frame pada Lengan Robot

Beberapa parameter yang digunakan yaitu a_i , α_i , d_i , dan θ_i . Jarak dari Z_{i-1} ke Z_i diukur sepanjang X_i disebut a_i . Sudut antara Z_{i-1} dengan Z_i diukur sepanjang X_i disebut α_i . Parameter d_i adalah jarak dari X_{i-1} ke X_i diukur sepanjang Z_i . Parameter θ_i adalah sudut antara X_{i-1} dengan X_i diukur sepanjang Z_i . **Tabel 3.1** menunjukkan parameter link dari lengan robot sesuai dengan peletakan *frame* yang ditunjukkan **Gambar 3.3**

Tabel 3.1 Parameter link pada lengan robot

I	a_i	α_i	d_i	θ_i
1	8 cm	0	0 cm	θ_1
2	8 cm	180 ⁰	0 cm	θ_2
3	16 cm	0 ⁰	0 cm	θ_3

Homogenous matrik pada tiap-tiap *link*

$$A_1 = \begin{bmatrix} \cos\theta_1 & -\sin\theta_1 & 0 & a_1 \cos\theta_1 \\ \sin\theta_1 & \cos\theta_1 & 0 & a_1 \sin\theta_1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_2 = \begin{bmatrix} \cos\theta_2 & \sin\theta_2 & 0 & a_2 \cos\theta_2 \\ \sin\theta_2 & -\cos\theta_2 & 0 & a_2 \sin\theta_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_3 = \begin{bmatrix} \cos\theta_3 & -\sin\theta_3 & 0 & a_3 \cos\theta_3 \\ \sin\theta_3 & \cos\theta_3 & 0 & a_3 \sin\theta_3 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



3.3 Perancangan forward kinematic

Secara umum *forward kinematic* adalah memberikan masukan sudut pada tiap-tiap motorservo setelah itu kita dapatkan posisi end-effector. Perancangan *forward kinematic* dilakukan dengan menghitung terlebih dahulu *Homogenous* matrik semua link.

$${}^0T_3 = A_1 A_2 A_3 = \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & P_x \\ n_y & o_y & a_y & P_y \\ n_z & o_z & a_z & P_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$n_x = \cos(\theta_1 + \theta_2 - \theta_3)$$

$$n_y = \sin(\theta_1 + \theta_2 - \theta_3)$$

$$n_z = 0$$

$$o_x = -\sin(\theta_1 + \theta_2 - \theta_3)$$

$$o_y = \cos(\theta_1 + \theta_2 - \theta_3)$$

$$o_z = 0$$

$$a_x = 0$$

$$a_y = 0$$

$$a_z = 1$$

$$P_x = a_3 \cos(\theta_1 + \theta_2 - \theta_3) + a_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) + a_1 \cos(\theta_1)$$

$$P_y = a_3 \sin(\theta_1 + \theta_2 - \theta_3) + a_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) + a_1 \sin(\theta_1)$$

$$P_z = 0$$

Dimana

$$\cos(\theta_1 + \theta_2 - \theta_3) = \cos \theta_1 (\cos \theta_2 \cos \theta_3 + \sin \theta_2 \sin \theta_3)$$

$$-\sin \theta_1 (\sin \theta_2 \cos \theta_3 - \cos \theta_2 \sin \theta_3)$$

$$\sin(\theta_1 + \theta_2 - \theta_3) = \sin \theta_1 (\cos \theta_2 \cos \theta_3 + \sin \theta_2 \sin \theta_3)$$

$$+ \cos \theta_1 (\sin \theta_2 \cos \theta_3 - \cos \theta_2 \sin \theta_3)$$

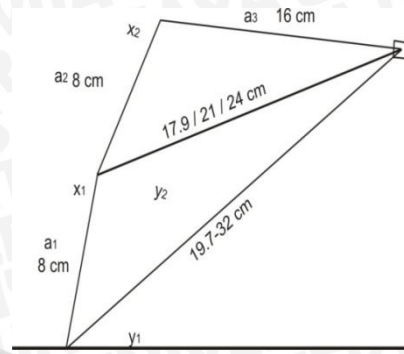
$$\cos(\theta_1 + \theta_2) = \cos \theta_1 \cos \theta_2 - \sin \theta_1 \sin \theta_2$$

$$\sin(\theta_1 + \theta_2) = \sin \theta_1 \cos \theta_2 + \cos \theta_1 \sin \theta_2$$

Matrik *forward* memberikan informasi orientasi dan posisi dari *end-effector*. Kita lihat pada persamaan diatas posisi koordinat (Px,Py) *end-effector* dapat kita hitung dengan memberikan masukan sudut pada motor servo untuk setiap link.

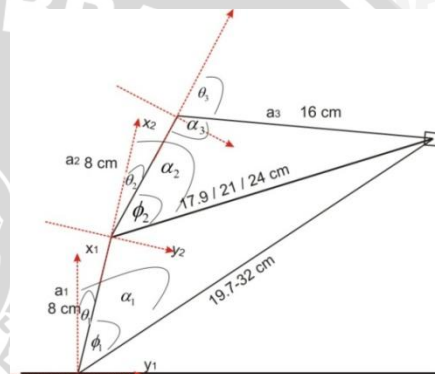
3.4 Perancangan invers kinematic

Pada *invers kinematic* kita menggunakan hukum cosines untuk mendapatkan solusi sudut pada posisi tertentu *end-effector*. Tiap link kita hubungkan maka seolah-olah akan membentuk sebuah segitiga dengan menghubungkan posisi *end-effector* dan *joint*.



Gambar 3.6 Pembentukan segitiga

Solusi sudut servomotor kita definisikan kembali variabel pada *frame* robot lengan untuk memudahkan penyusunan solusi-solusi sudut pada motor servo.



Gambar 3.7 invers kinematic dengan metode segitiga

- Solusi untuk motor servo link 1

$$\alpha_1 = \arctan \frac{y_0}{x_0}$$

$$\phi_1 = \arccos \frac{(a^2 + c^2 - b^2)}{2 * a * c}$$

$$a = 8cm$$

$$b = \{17.9, 21, 24\}$$

$$c = \sqrt{y_0^2 + x_0^2}$$

Jika theta 1 positif (+) maka

$$\theta_1 = -\alpha_1 + \phi_1$$

Jika theta 1 positif (-) maka

$$\theta_1 = -\alpha_1 - \phi_1$$

- Solusi untuk motor servo link 2

$$x_1 = -8 + x_0 \cos \theta_1 + y_0 \sin \theta_1$$

$$y_1 = x_0 \sin \theta_1 - y_0 \cos \theta_1$$

$$\alpha_2 = \arctan \frac{y_1}{x_1}$$

$$\phi_2 = \arccos \frac{(a^2 + c^2 - b^2)}{2 * a * c}$$

$$a = 8cm$$

$$b = 16cm$$

$$c = \sqrt{y_1^2 + x_1^2}$$



Jika theta 2 positif (+) maka

$$\theta_2 = \alpha_2 - \phi$$

Jika theta 2 negatif (-) maka

$$\theta_2 = \alpha_2 + \phi$$

- Solusi untuk motor servo link 3

$$\phi_3 = \arccos \frac{(a^2 + b^2 - c^2)}{2 * a * b}$$

$$a = 8 \text{ cm}$$

$$b = 16 \text{ cm}$$

$$c = \sqrt{y_1^2 + x_1^2}$$

Jika theta 3 positif (+) maka

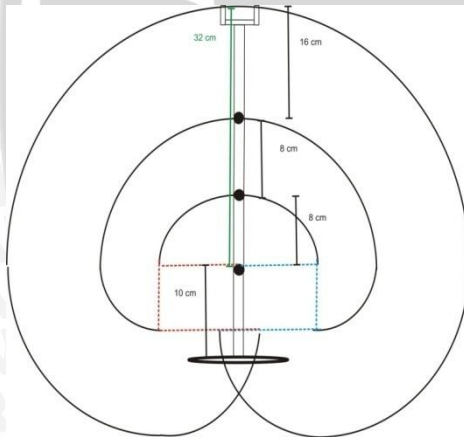
$$\theta_3 = -(180^\circ - \phi_3)$$

Jika theta 3 negatif (-) maka

$$\theta_3 = (180^\circ - \phi_3)$$

3.5 Workspace robot lengan

Workspace robot lengan adalah total luas yang memungkinkan terlewati (tersapu) oleh gerakan robot lengan. Workspace dapat kita tentukan dengan cara menggerakkan tiap motor servo secara berurutan sehingga kita dapat mengetahui jangkauan robot lengan dengan keterbatasan fisik robot.



Gambar 3.8 workspace robot lengan

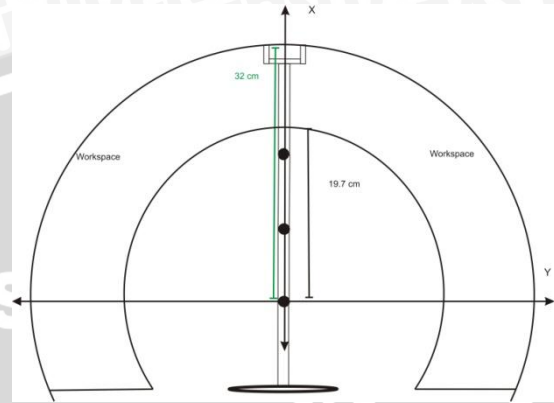
Motor servo yang digunakan memiliki keterbatasan sudut yaitu antara -90 derajat sampai 90 derajat. Motor servo paling bawah kita gerakkan (dari sudut min hingga max) maka akan terbentuk setengah lingkaran dengan jari-jari 32 cm. Kondisikan motor servo bagian bawah pada kondisi sudut maks atau min lalu gerakan motor servo bagian tengah sehingga kita dapatkan ruang gerak baru yang terlewati (tersapu), yaitu seperempat lingkaran dengan jari-jari 24 cm. Tetap dalam kondisi motor servo bagian tengah membentuk seperempat lingkaran baru, kita gerakkan motor servo bagian paling atas sehingga terbentuk seperempat lingkaran baru dengan jari-jari 16 cm.

3.6 Perancangan gerak robot lengan

Gerak robot lengan sangat dipengaruhi kemampuan motor servo robot lengan dan juga jangkauan posisi yang mungkin dituju oleh metode *invers kinematic* dengan solusi geometri. Perancangan *invers kinematik* dengan solusi geometri diketahui

memiliki jangkauan posisi antara 19.7 sampai 32 cm dari koordinat dasar, selama objek berada pada jangkauan tersebut maka robot lengan akan mampu mengambil objek tersebut.

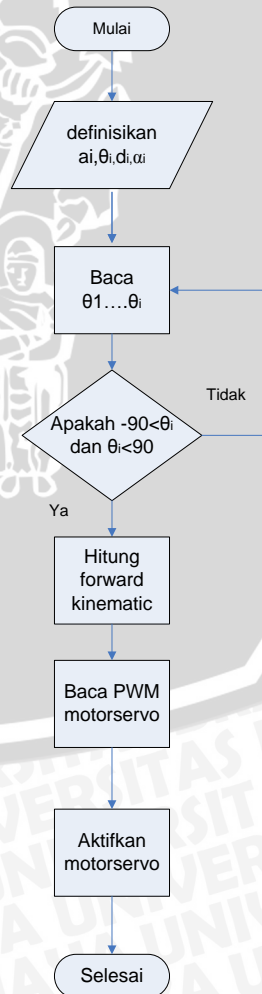
Kita taruh objek pada posisi dalam jangkauan, kita atur posisi objek sesuai dengan kemampuan robot lengan. Posisi objek dapat kita taruh pada semua posisi dalam area solusi *invers kinematic*.



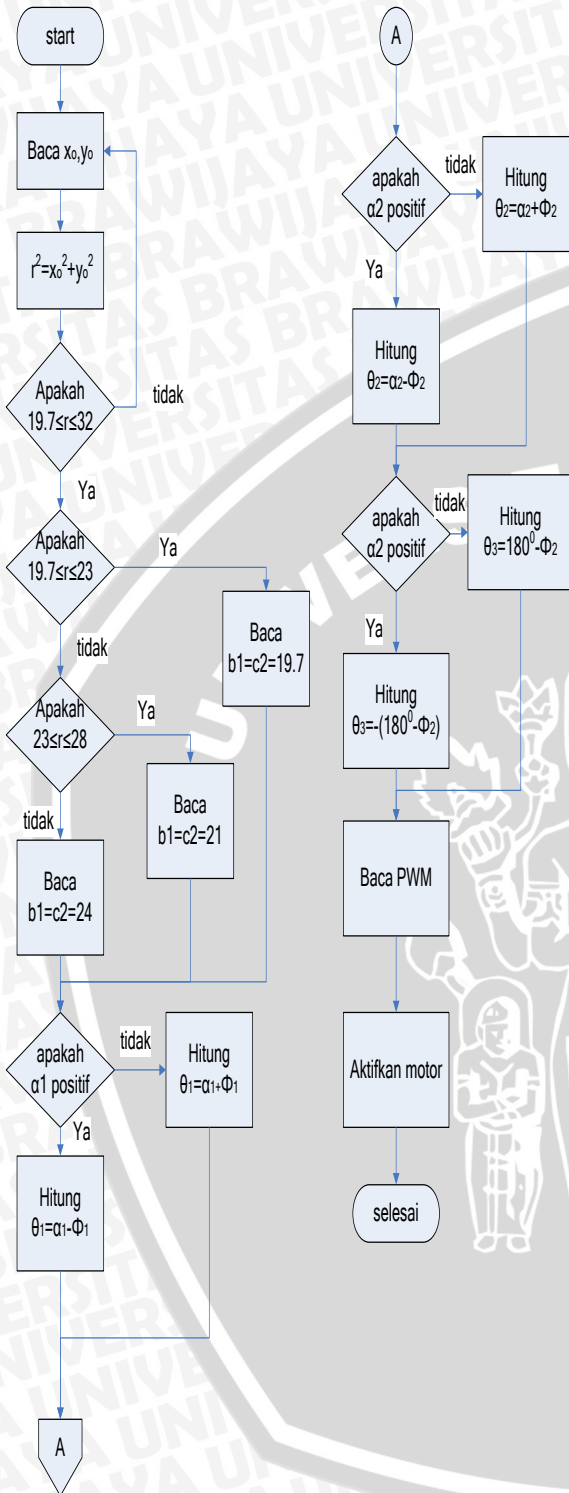
Gambar 3.10 Ruang solusi untuk metode invers kinematic

3.7 Perancangan perangkat lunak

Flowchart *forward kinematic*



Flowchart *invers kinematic*



IV. PENGUJIAN

Tujuan pengujian sistem ini adalah untuk menentukan apakah alat yang telah dibuat berfungsi dengan baik dan sesuai dengan perancangan. Pengujian pada sistem ini meliputi pengujian setiap blok maupun pengujian secara keseluruhan. Pengujian setiap blok ini dilakukan untuk menemukan letak kesalahan dan mempermudah analisis pada sistem apabila alat tidak bekerja sesuai dengan perancangan.

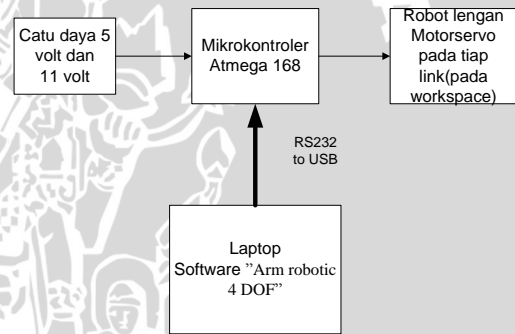
5.1 Pengujian *forward kinematic*

a. Tujuan

Untuk mengetahui ketelitian posisi *end-effector* dengan metode *forward kinematic*.

b. Peralatan yang digunakan

- Robot lengan
- *Board* pengendali 32 motor servo mikrokontroler Atmega168 Arexx intelligence center
- Catu daya 6 - 12 volt
- Kabel serial usb to RS232
- Komputer/laptop
- Penggaris siku
- Medan robot lengan



Gambar 5.10 Blok pengujian *forward*

c. Langkah pengujian

Rangkai peralatan seperti pada Gambar 5.10

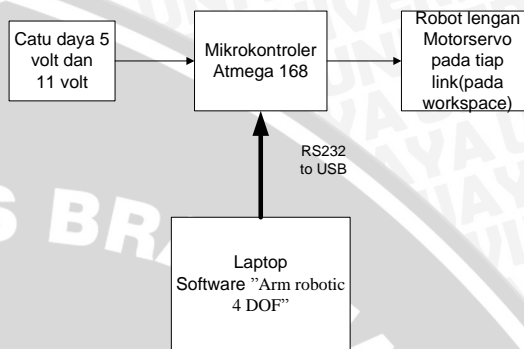
1. Buka software kinematika robot lengan 4 DOF dan berikan nilai sudut yang diinginkan pada masing-masing link
2. Klik forward, perhitungan secara teoritis akan diperlihatkan oleh software
3. Ukur *end-effector* posisi dengan dua buah penggaris siku dan papan penunjuk posisi

- d. Hasil pengujian
 Pada tabel 5.4 Menunjukkan hasil pengujian forward kinematik

Tabel 5.4 pengujian *forward* kinematik

No	Sudut			posisi pengukuran		Posisi teori		Error	
	link1	link2	link3	X	Y	X	Y	X	Y
1	10.95083	24.07665	-61.841	12.519	22.99	12.479914	21.99758	-0.039086	-0.99242
				12.491	23	12.479914	21.99758	-0.011086	-1.00242
				12.489	23.1	12.479914	21.99758	-0.009086	-1.10242
				12.519	22.993	12.479914	21.99758	-0.039086	-0.99542
				12.522	22.95	12.479914	21.99758	-0.042086	-0.95242
				12.51	22.98	12.479914	21.99758	-0.030086	-0.98242
2	10.44841	68.3901	0	12.519	22.98	12.479914	21.99758	-0.039086	-0.98242
				12.321	25.891	12.499999	24.99999	0.178999	-0.89101
				12.389	25.878	12.499999	24.99999	0.110999	-0.87801
				12.357	25.885	12.499999	24.99999	0.142999	-0.88501
				12.335	25.889	12.499999	24.99999	0.164999	-0.88901
				12.291	25.989	12.499999	24.99999	0.208999	-0.98901
3	-43.6496	-19.8133	0	12.319	25.687	12.499999	24.99999	0.180999	-0.88701
				12.295	25.979	12.499999	24.99999	0.204999	-0.97901
				16.512	-28.13	16.499998	-27.000001	-0.012002	1.129999
				16.495	28.189	16.499998	-27.000001	0.004998	1.188999
				16.498	-28.19	16.499998	-27.000001	0.001998	1.189999
				16.52	-28.04	16.499998	-27.000001	-0.020002	1.039999
4	-20.0648	-47.9197	0	16.498	-28.15	16.499998	-27.000001	0.001998	1.149999
				16.532	27.985	16.499998	-27.000001	-0.032001	0.984999
				16.5	28.089	16.499998	-27.000001	-2E-06	1.088999
				16.523	25.945	16.499999	25.000012	-0.023001	0.9449988
				16.459	25.978	16.499999	25.000012	0.040999	0.9779988
				16.542	25.878	16.499999	25.000012	-0.042001	0.8779988
4	-20.0648	-47.9197	0	16.521	-25.99	16.499999	25.000012	-0.021001	0.9899988
				16.489	25.968	16.499999	25.000012	0.010999	0.9679988
				16.498	25.978	16.499999	25.000012	0.001999	0.9779988
				16.503	-25.9	16.499999	25.000012	-0.003001	0.8999988

- c. Langkah pengujian
1. Rangkaian peralatan seperti pada **Gambar 5.11**
 2. Buka software kinematika robot lengan 4 DOF dan berikan nilai sudut yang diinginkan pada masing-masing link
 3. Klik forward, perhitungan secara teoritis akan diperlihatkan oleh software
 4. Ukur end-effector posisi dengan penggaris siku dan papan penunjuk posisi



Gambar 5.11 Rangkaian peralatan

- d. Hasil pengujian
 Pada **Tabel 5.5** Menunjukkan hasil pengujian *invers* kinematik

Table 5.5 Pengujian *invers* kinematik

NO	posisi yang diinginkan		solusi sudut invers	link1	link2	link3	posisi yang terukur		Error	
	X	Y					X	Y	X	Y
1	12.5	22	10.95083	24.07665	61.8407	12.13	23.48	0.37	-1.48	
						11.98	23.55	0.52	-1.55	
						12.14	23.48	0.36	-1.48	
						12.05	23.5	0.45	-1.5	
						12	23.5	0.5	-1.5	
						12.1	23.45	0.4	-1.45	
2	12.5	27	10.44841	68.3901	0	11.54	28.48	0.96	-1.48	
						11.48	28.58	1.02	-1.58	
						11.55	28.5	0.95	-1.5	
						11.5	28.54	1	-1.54	
						11.55	28.5	0.95	-1.5	
						11.45	28.5	1.05	-1.5	
3	16.5	-26	-43.6496	19.81326	0	11.5	28.56	1	-1.56	
						16.24	-26.8	0.26	0.8	
						16.18	-26.77	0.32	0.77	
						16.22	-26.8	0.28	0.8	
						16.2	-26.82	0.3	0.82	
						16.19	-26.78	0.31	0.78	
4	16.5	-25	-20.0648	47.91967	0	16.19	-26.73	0.31	0.73	
						16.2	-26.8	0.3	0.8	
						16.5	-26.5	0	1.5	
						16.52	-26.47	-0.02	1.47	
						16.45	-26.56	0.05	1.56	
						16.55	-26.48	-0.05	1.48	
4	16.5	-25	-20.0648	47.91967	0	16.48	-26.54	0.02	1.54	
						16.53	-26.48	-0.03	1.48	
						16.5	-26.52	0	1.52	

Dari hasil pengujian dapat kita lihat error posisi pada sumbu x cukup kecil sedangkan error yang terjadi pada sumbu y cukup besar yaitu ± 1 cm. Error yang terjadi diakibatkan oleh mekanik robot lengan yang kurang baik sehingga *error* yang ditimbulkan cukup besar.

5.2 Pengujian invers kinematic

- a. Tujuan
 Untuk mengetahui ketelitian posisi end-effector dengan metode *invers* kinematik.
- b. Peralatan yang digunakan
- Robot lengan
 - Board pengendali 32 motor servo mikrokontroler Atmega168 Arexx intelligence center
 - Catu daya 6 - 12 volt
 - Kabel serial usb to RS232
 - Komputer/laptop
 - Dua buah penggaris siku
 - Medan robot lengan

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari perancangan, pengujian dan pengamatan yang telah dilakukan pada robot lengan dagu-hitech maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan data pengujian servomotor tiap link, servomotor kurang konsisten dalam membentuk sudut yaitu memiliki penyimpangan antara 0.5 - 1.5 derajat sehingga mempengaruhi ketepatan posisi *end-effector*.
2. Pada pengujian forward kinematik terdapat penyimpangan yang cukup kecil (0.03 - 0.1 cm) pada sumbu x dan pada sumbu y memiliki penyimpangan yang cukup besar (± 1 cm).
3. Pada pengujian invers kinematik terdapat penyimpangan yang cukup kecil (± 0.5 cm) pada sumbu x dan pada sumbu y memiliki penyimpangan yang cukup besar (± 1.5 cm).

5.2 Saran

Dalam perancangan dan pembuatan alat ini masih terdapat kelemahan. Untuk memperbaiki kinerja alat dan pengembangan lebih lanjut disarankan:

1. Metode solusi invers aljabar akan memiliki ketepatan yang lebih baik dari pada solusi invers geometri.
2. Skema pengendalian yang lebih baik dengan mengkombinasikan invers dan forward kinematik dengan feedback pada tiap-tiap link untuk mengukur sudut.

DAFTAR PUSTAKA

Craig, J.J., 2005. *Introduction to Robotics Mechanics and Control*. Prentice Hall. United State of America.

Spong, Mark W, 2007, *Robot Dynamics and Control*, John Wiley & Sons. New York.

Koyuncu, Baki, Mehmet Guzel. 2007. Software Development for kinematic Analysis of a Lynx 6 Robot Arm. *Journal of computer engineering*

Nurdinsidiq, Muh., 2004, Pengendalian Lengan Robot ROB3 Berbasis Mikrokontroler AT89C51 Menggunakan Transduser Ultrasonik, Tugas Akhir S1 Teknik Elektro UGM, Yogyakarta.

Winoto, Ardi, 2008. Mikrokontroler AVR ATmega8/32/16/8535 dan Pemrograman dengan bahasa C pada WinAVR. Informatika Bandung. Bandung.