

PENGATURAN PERGERAKAN ROBOT LENGAN SMART ARM ROBOTIC AX-12A MELALUI PENDEKATAN GEOMETRY BASED KINEMATIC MENGGUNAKAN ARDUINO

Dina Caysar NIM. 105060301111006

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

E-mail: caesarpoo@gmail.com

Pembimbing:

- 1) Goegoes Dwi N., ST., MT 2) Dr. Ir. Erni Yudaningsy, MT

Abstrak— Saat ini perkembangan teknologi sudah sangat pesat dan telah mencakup di segala bidang. Perkembangan yang juga terjadi di bidang industri menuntut penggunaan alat bantu yang dapat mengoptimalkan sumber-sumber daya yang ada agar dapat bersaing di pasar bebas. Robot merupakan salah satu alat bantu yang dalam kondisi tertentu sangat diperlukan dalam industri. 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 memudahkan perhitungan posisi pada end-effector. Pada metode invers kinematic menggunakan analisa geometri untuk mendapatkan solusi posisi dari end-effector. Peralatan yang digunakan adalah robot lengan Smart Arm Robotic AX-12A, board Arduino Mega, kabel komunikasi serial RS232 to USB. Pada pengujian invers kinematic dapat dilihat rata-rata error posisi pada sumbu x yaitu sebesar ± 0.10476 cm dan pada sumbu y yaitu ± 0.23333 cm. Pada pengujian forward kinematic dapat dilihat rata-rata error posisi pada sumbu x yaitu sebesar ± 0.00282 cm dan pada sumbu y yaitu ± 0.13526 cm.

Kata kunci: Robot lengan, Smart Arm Robotic AX-12A, Arduino, invers kinematic, forward kinematic

I. PENDAHULUAN

Pada saat ini, perkembangan teknologi sudah sangat pesat dan mencakup di segala bidang, terutama pada bidang teknologi komputer, elektronika, dan kontrol. Salah satu contoh perkembangan pada bidang komputer dan bidang elektronika dan kontrol adalah penggunaan robot. Penggunaan robot kini semakin meningkat dari waktu ke waktu untuk menangani berbagai tugas[1].

Robot merupakan salah satu alat bantu yang dalam kondisi tertentu sangat diperlukan dalam industri. Terdapat kondisi-kondisi tertentu dalam industri yang tidak mungkin ditangani oleh manusia, keadaan ini dapat diatasi dengan penggunaan robot[2].

Robot memiliki banyak kelebihan yang tidak dimiliki manusia. yaitu menghasilkan kualitas yang sama ketika mengerjakan suatu pekerjaan secara berulang-

ulang, tidak mudah lelah, dan dapat diprogram ulang sehingga dapat difungsikan untuk beberapa tugas yang berbeda. Diantara robot yang sering digunakan dalam dunia industri adalah robot lengan. [3].

Salah satu dasar dari ilmu robotika adalah pemahaman mengenai kinematika dan dinamika robot. Kinematika merupakan pengetahuan atau teori tentang pergerakan objek tanpa memperhitungkan gaya-gaya yang menyebabkan benda itu bergerak. Kinematika robot terdiri atas pergerakan rotasi dan translasi. Di dalam tinjauan kinematika gerak robot, dikenal istilah *invers kinematic* dan *forward kinematic*. Pada *forward kinematic* kita memberikan nilai pada setiap sudut motor servo dan mendapatkan posisi *end-effector*, sedangkan pada *invers kinematic* kita memberi masukan berupa posisi dan robot lengan akan mencari sudut pada tiap motor servo agar posisi *end effector* tepat sesuai dengan posisi yang diinginkan.[4]

Robot lengan diharapkan dapat diprogram ulang secara fleksibel oleh pengguna. Pemrograman ulang pada robot lengan membuat kita membutuhkan antarmuka antara robot lengan dengan pengguna melalui komputer. Pada penelitian ini, digunakan robot lengan *Smart Arm Robotic AX-12A* dengan empat derajat kebebasan dan tujuh buah servo sebagai *actuator*. Robot ini merupakan salah satu peralatan percobaan yang digunakan pada Laboratorium Robotika dan Mekatronika Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

Berdasarkan masalah tersebut maka dilakukan pengendalian robot lengan dengan pendekatan *Geometry - Based Kinematic*. Yaitu pendekatan kinematika yang menggunakan analisis geometri. Tujuannya tidak lain adalah untuk dapat memindahkan objek pada posisi yang sesuai, mempermudah pengguna dalam memahami konsep kinematika gerak robot dan mempermudah dalam melakukan pemrograman menggunakan Arduino.

II. SISTEM ROBOT LENGAN DAN KINEMATIKA ROBOT

A. Sistem Robot Lengan

Sistem robot lengan pada umumnya merupakan suatu struktur mekanik yang tersusun atas beberapa batang kaku terbuat dari logam, plastik, maupun bahan lain yang sering disebut dengan *link*. Antara *link* satu

dengan *link* lainnya dihubungkan oleh persendian yang disebut *joint*. Umumnya *Prismatic Joint* dan *Flat Joint* dapat menghasilkan pergeseran. Sedangkan *Spheris Joint* dan *Revolute Joint* dapat menghasilkan *Degree of Freedom* (DOF) atau derajat kebebasan. *Degree of Freedom* (DOF) atau derajat kebebasan adalah jumlah arah yang independen dimana *actuator* dari sebuah robot dapat bergerak dan menghasilkan gerakan berputar. DOF dapat dihitung tiap sendi dan tidak termasuk *end effector*. Sedangkan *end effector* adalah piranti yang terpasang pada lengan robot untuk melaksanakan fungsi-fungsi tertentu. End effector terbagi menjadi dua yaitu *gripper* dan *tool*. End effector dan keseluruhan bagian robot lengan bekerja pada *workspace* tertentu, tergantung kemampuan robot yang digunakan [1].

B. Kinematika Robot Lengan

Kinematika robot terdiri atas pergerakan rotasi dan translasi. Pada gerakan rotasi yaitu gerakan berputar pada sebuah sumbu yang tetap, gerakan tersebut dapat berputar pada sumbu x, y maupun z. Sedangkan pada gerakan translasi, artinya terdapat pergeseran sumbu koordinat pada jarak tertentu dari sumbu koordinat semula. Hal ini tentu sangat terkait dengan peletakan frame robot lengan.[6]

C. DH-Parameter

Pada umumnya dalam menentukan frame atau koordinat dasar diperlukan aturan tertentu agar nantinya memudahkan dalam menganalisis posisi dari pergerakan robot. Salah satu aturan tersebut dikenal dengan *DH-Parameter*. *DH-Parameter* digunakan untuk memodelkan robot jenis *articulated* robot dengan mendeskripsikan parameter hubungan antara satu sendi dengan sendi lainnya. 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 . [6] Berikut ini adalah Tabel 1 yang berisi tentang *DH-Parameter* untuk robot planar 2 *link*.

Tabel 1 : Parameter link pada robot lengan planar 2 link

Link	a_i	α_i	d_i	θ_i
1	a_1	0	0	θ_1^*
2	a_2	0	0	θ_2^*

D. Invers Kinematic dan Forward Kinematic

Pada *invers kinematic* kita memberi masukan berupa posisi *end effector* dan robot lengan akan mencari sudut pada tiap motor servo agar tepat sesuai dengan posisi yang kita inginkan. Solusi umum dari *invers kinematic* memang tidak ada, Hal ini disebabkan solusinya sangat bergantung pada peletakan frame (sumbu koordinat). Adapun pendekatan yang dilakukan untuk menentukan sudut motor servo yaitu dengan pendekatan *Geometric Solution* dan *Algebraic Solution*.

Sedangkan apabila kita menghendaki untuk menghitung posisi (dari koordinat dasar) robot lengan dengan memberikan nilai sudut pada D-H parameter, maka hal itu disebut *forward kinematic*. *Forward*

kinematic adalah suatu metode perhitungan posisi sebagai fungsi sudut dengan menghitung setiap sudut yang diberikan di setiap joint antar link untuk mendapatkan posisi *end effector*.

E. Arduino Mega

Arduino Mega adalah board mikrokontroler berbasis ATmega1280. Memiliki 54 pin input dan output digital, dimana 14 pin diantara pin tersebut dapat digunakan sebagai output PWM dan 16 pin input analog, 16 MHz osilator kristal, koneksi USB, jack power, ICSP header, dan tombol reset. Untuk mendukung mikrokontroler agar dapat digunakan, cukup hanya menghubungkan Board Arduino Mega ke komputer dengan menggunakan kabel USB atau dengan adaptor AC-DC untuk menjalankannya.

Secara fisik, ukuran Arduino Mega hampir kurang lebih 2 kali lebih besar dari Arduino Uno, ini untuk mengakomodasi lebih banyaknya pin Digital dan Analog pada board Arduino Mega tersebut. Tampilan Arduino Mega dapat dilihat pada gambar 1 berikut ini :

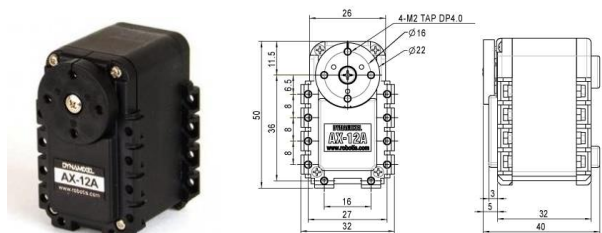


Gambar 1 : Board Arduino Mega

F. Motor Servo Dynamixel AX-12A

Motor servo adalah sebuah motor dengan sistem *closed feedback* di mana posisi dari motor servo akan diinformasikan kembali ke rangkaian kontrol yang ada di dalam motor servo. Motor servo yang saat ini beredar di pasaran, paling tidak, ada dua varian yakni analog dan digital. Pada Skripsi ini, motor servo yang digunakan adalah motor servo *Dynamixel AX-12A*. *Dynamixel AX-12A* merupakan motor servo cerdas yang memiliki torsi hingga 12 kgf.cm dan dilengkapi kemampuan *networking* melalui antarmuka UART TTL *half duplex multidrop*.

Dynamixel AX-12A terdiri dari *reduction gear*, *precision DC Motor*, dan rangkaian kontrol yang telah dilengkapi dengan kemampuan komunikasi (*networking*) dalam satu kemasan. *AX-12A* merupakan versi terbaru dari *AX-12+* dengan kemampuan yang sama tetapi dengan penambahan desain eksternal. Pada gambar 2 berikut ini adalah bentuk fisik *Dynamixel AX-12A*.



Gambar 2 : Motor Servo Dynamixel AX-12A

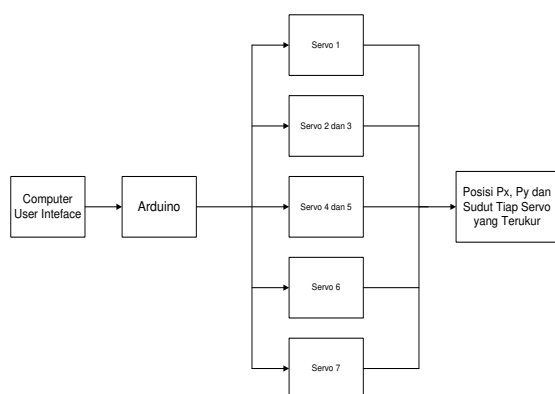
Motor servo ini adalah jenis motor servo digital dengan fitur *daisy-chained*, dimana satu servo dan yang lainnya, bisa dirangkai secara serial, *daisy-chained*. Masing-masing servo, yang memiliki ID yang unik, diperintah melalui satu jalur serial, dan tidak memerlukan sinyal kontrol yang kontinu.

III. PERANCANGAN ALAT

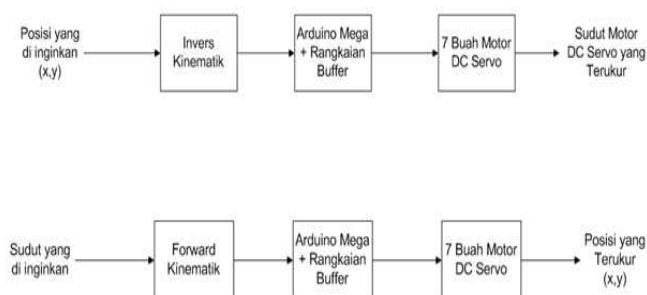
Perancangan ini meliputi pembuatan perangkat keras dan perangkat lunak, Perancangan perangkat lunak yang dimaksud adalah pembuatan program pada *Arduino*. Program yang dirancang meliputi program *invers kinematic* dan *forward kinematic*.

A. Prinsip Kerja Robot Lengan

Robot lengan memiliki empat DOF (*degree of freedom*), namun disini penulis memanfaatkan dua DOF dan *end-effector* untuk kita terapkan metode *forward* dan *invers kinematic*. Blok diagram perancangan perangkat keras di tunjukkan pada gambar 3. Sedangkan blok diagram perancangan perangkat lunak di tunjukkan pada gambar 4.



Gambar 3 : Blok diagram hardware



Gambar 4 : Blok diagram software

Pada blok diagram perangkat lunak, pengguna dapat menggunakan dua metode yaitu *forward kinematic* dan *invers kinematic*, *Arduino* 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*.

B. Deskripsi Frame Robot Lengan

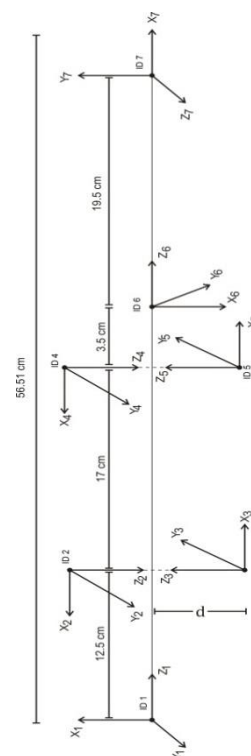
Pada robot *Smart Arm Robotic AX-12A* memiliki 4 derajat kebebasan dan penjapit (*end effector*). Bagian-

bagian pada robot lengan diantaranya batang-batang logam aluminium yang berfungsi sebagai link, enam buah motor DC Servo yang berfungsi sebagai aktuator dan sebuah servo penjapit yang berfungsi sebagai *end effector*. Pengendalian lengan dibantu dengan *Arduino* dan *PC* sebagai *interface*. Gambar 5 menunjukkan struktur mekanik robot lengan *Smart Arm Robotic AX-12A*.



Gambar 5 : Mekanik Robot Lengan Smart Arm Robotic AX-12A

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[1]. Sistem koordinat ini melekat pada *link*. Penomoran *frame* pada robot lengan *Smart Arm Robotic AX-12A* ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 6 : Pendeklarasian frame pada robot lengan Smart Arm Robotic AX-12A

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 2 menunjukkan parameter link dari lengan robot sesuai dengan peletakan *frame* yang ditunjukkan oleh gambar 6.

Tabel 2 : Parameter link pada lengan robot

L	a_i	α_i	d_i	θ_i
0	12.5 cm	0	0	0
1	17.5 cm	0	0	θ_1
2	23 cm	0	0	θ_2
3	0 cm	α_3	0	0

Dengan *Homogenus* matrik pada tiap-tiap *link* disajikan dalam persamaan 1 dan 2 berikut ini

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

$$A_2 = \begin{bmatrix} \cos(\theta_2) & -s \sin(\theta_2) & 0 & (a_2 \cos(\theta_2)) \\ \sin(\theta_2) & \cos(\theta_2) & 0 & (a_2 \sin(\theta_2)) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2)$$

C. Perancangan *forward kinematic*

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

$$T_2^0 = A_1 \cdot A_2 = \begin{bmatrix} \cos(\theta_1 + \theta_2) & -s \sin(\theta_1 + \theta_2) & 0 & (17 \cos(\theta_1) + 23 \cos(\theta_1 + \theta_2)) \\ \sin(\theta_1 + \theta_2) & \cos(\theta_1 + \theta_2) & 0 & (17 \sin(\theta_1) + 23 \sin(\theta_1 + \theta_2)) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\dots\dots\dots(3)$$

$$T_1^0 = A_1 \dots\dots\dots(4)$$

$$T_2^0 = A_1 \cdot A_2 = \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & P_x \\ n_y & o_y & a_y & P_y \\ n_z & o_z & a_z & P_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \dots\dots\dots(5)$$

$$\begin{aligned} n_x &= \cos(\theta_1 + \theta_2) \\ n_y &= \sin(\theta_1 + \theta_2) \\ n_z &= 0 \end{aligned} \dots\dots\dots(6)$$

$$\begin{aligned} o_x &= -s \sin(\theta_1 + \theta_2) \\ o_y &= \cos(\theta_1 + \theta_2) \\ o_z &= 0 \end{aligned} \dots\dots\dots(7)$$

$$\begin{aligned} a_x &= 0 \\ a_y &= 0 \\ a_z &= 1 \end{aligned} \dots\dots\dots(8)$$

$$\begin{aligned} P_x &= (17 \cos(\theta_1) + 23 \cos(\theta_1 + \theta_2)) \\ P_y &= (17 \sin(\theta_1) + 23 \sin(\theta_1 + \theta_2)) \\ P_z &= 0 \end{aligned} \dots\dots\dots(9)$$

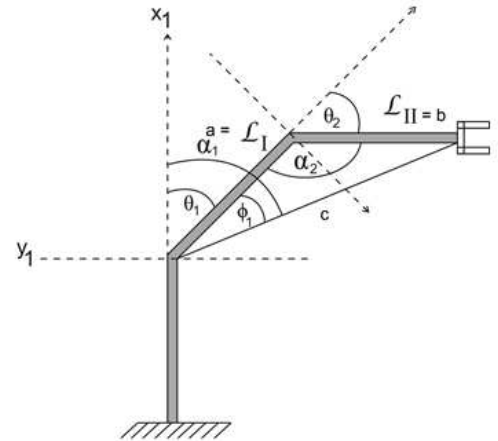
Matrik *forward* memberikan informasi orientasi dan posisi dari *end-effector*. Kita lihat pada persamaan diatas posisi koordinat (Px,Py) *end-effector* dapat kita hitung dengan memberikan masukan sudut pada motor servo untuk setiap *link*.

D. Perancangan *invers kinematic*

Pada *invers kinematic* kita menggunakan aturan *cosinus* sudut dalam segitiga 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* terbawah.

Solusi sudut motor servo dicari dengan terlebih dahulu mendefinisikan kembali variabel pada *frame* robot lengan untuk memudahkan penyusunan solusi-solusi sudut pada tiap motor servo. Gambar 7 menunjukkan pembentukan segitiga dalam mencari solusi *invers kinematic*.



Gambar 7 *invers kinematic* dengan metode segitiga

- Solusi untuk motor servo *link* 1

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

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

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

$$a = 17 \text{ cm}$$

$$b = 23 \text{ cm}$$

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

Jika alpha 1 positif (+) maka

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

Jika alpha 1 negatif (-) maka

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

- Solusi untuk motor servo *link* 2

Jika alpha 1 positif (+) maka

$$\theta_2 = 180 - \alpha_2$$

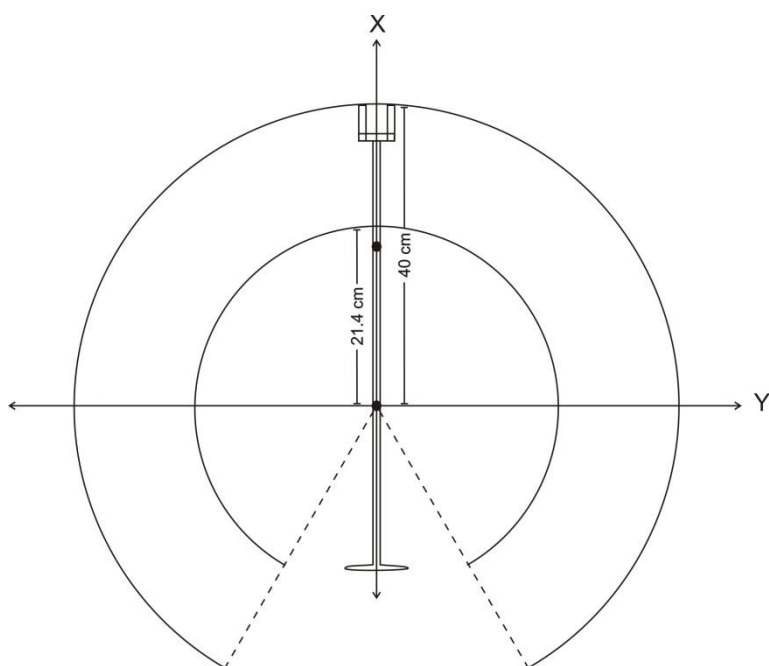
Jika alpha 1 negatif (-) maka

$$\theta_2 = -(180 - \alpha_2)$$

E. *Workspace* robot lengan

Workspace robot lengan adalah total luas yang memungkinkan terlewati atau dapat dijangkau oleh gerakan robot lengan. *Workspace* dapat kita tentukan dengan cara menggerakkan tiap motor servo secara berurutan sehingga kita dapat mengetahui jangkauan robot lengan dan keterbatasan fisik robot. Gambar 8

menunjukkan *workspace* robot lengan dengan jangkauan minimum dan maksimum yang dapat di capai.



Gambar 8 workspace robot lengan dengan jangkauan min-max

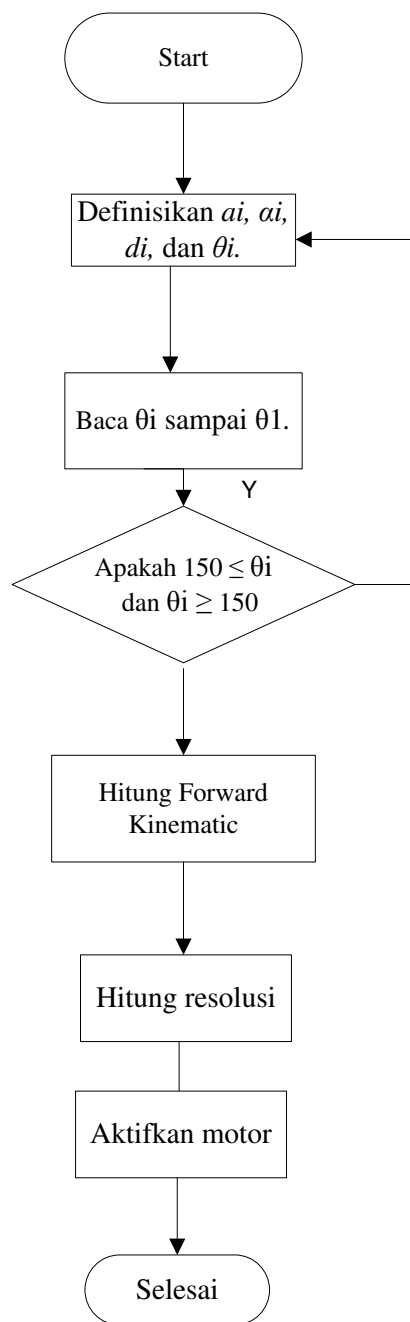
Motor servo yang digunakan memiliki keterbatasan sudut yaitu antara 0 derajat sampai 300 derajat. Motor servo paling bawah kita gerakkan (dari sudut min hingga max) maka akan terbentuk juring lingkaran dengan jari-jari 40 cm. Kondisikan motor servo bagian bawah pada kondisi sudut maks atau min lalu gerakan motor servo bagian tengah sehingga kita dapatkan ruang gerak baru yang terlewati (tersapu), yaitu seperempat lingkaran dengan jari-jari 21.4 cm.

F. Skema Gerak Robot Lengan

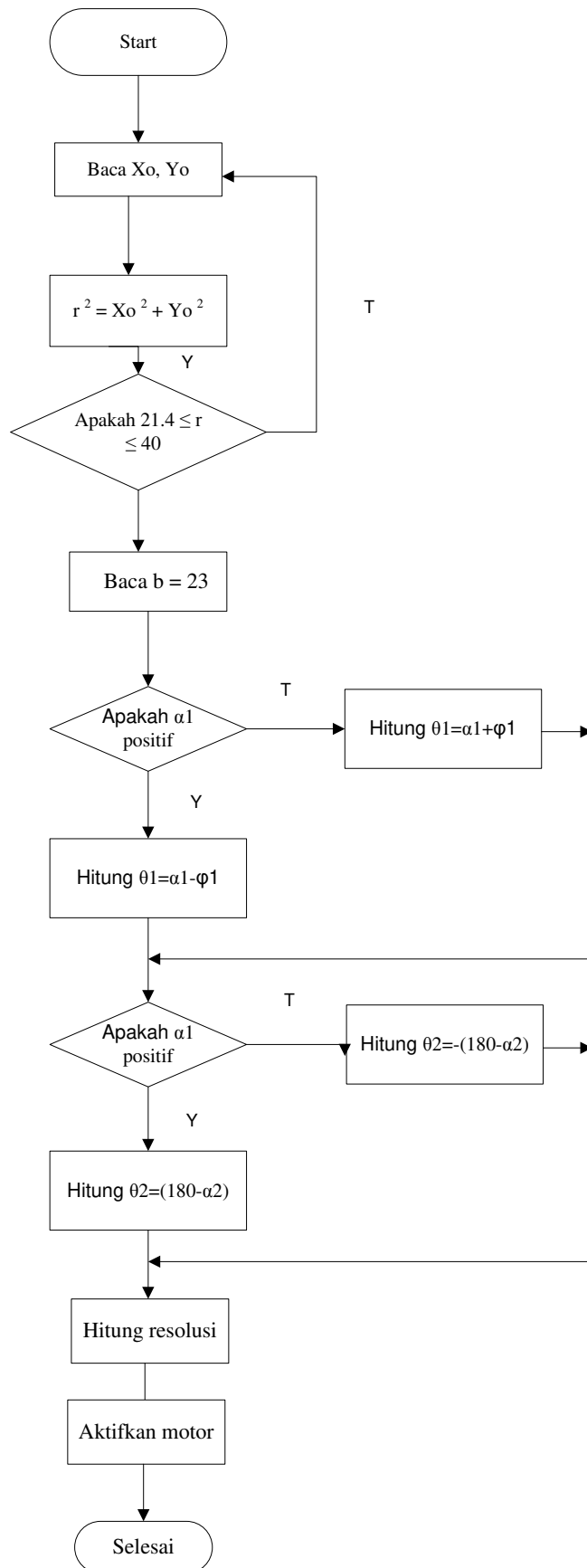
Gerak robot lengan sangat dipengaruhi kemampuan motor servo robot lengan dan juga jangkauan posisi yang mungkin dituju oleh metode *invers kinematic* dengan solusi *triangle*. Perancangan *invers kinematic* dengan solusi *triangle* diketahui memiliki jangkauan posisi antara 21.4 cm sampai 40 cm dari koordinat dasar, selama objek berada pada jangkauan tersebut maka robot lengan akan mampu mengambil objek tersebut. Objek diletakkan pada posisi dalam jangkauan, dan objek diatur sesuai dengan kemampuan robot lengan. Posisi objek dapat diletakkan pada semua posisi dalam area solusi *invers kinematic*.

G. Perancangan perangkat lunak

Perancangan program perangkat lunak meliputi perancangan program *invers kinematic* dan program *forward kinematic*. Gambar 9 menunjukkan *flowchart* perancangan perangkat lunak untuk program *forward kinematic* dan gambar 10 menunjukkan *flowchart* perancangan perangkat lunak untuk program *invers kinematic* :



Gambar 9 : Flowchart *forward kinematic*

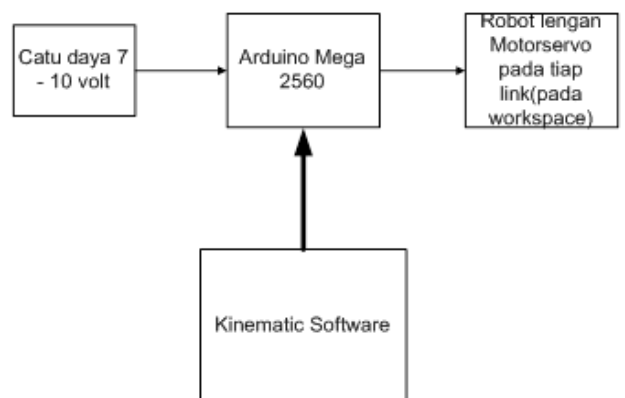
Gambar 10 : Flowchart *invers kinematic*

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.

A. Pengujian *forward kinematic*

- Tujuan
Untuk mengetahui ketelitian posisi *end-effector* dengan metode *forward kinematic*.
- Peralatan yang digunakan
 - Robot lengan Smart Arm Robotic AX-12A
 - *Arduino Mega 2560*
 - Catu daya 7 – 10 volt
 - Kabel serial *USB Type A to B*
 - Komputer/laptop
 - Penggaris siku
 - Medan robot lengan
- Langkah pengujian
 - Peralatan dirangkai seperti dalam Gambar 11.
 - Memberikan nilai sudut yang diinginkan pada masing-masing *link* melalui *Kinematic Software*.
 - Menekan tombol *forward*, perhitungan secara teoritis akan diperlihatkan oleh *software*.
 - Mengukur posisi *end-effector* dengan dua buah penggaris siku dan papan penunjuk posisi.

Gambar 11 : Blok Pengujian *Forward Kinematic*

- Hasil pengujian
Pada Tabel 3 Menunjukkan hasil pengujian *forward kinematic*.

No	Sudut (derajat)		Posisi Pengukuran		Posisi Teori		Error		Error Rata-rata		Error Global	
	Link 1	Link 2	Ex (cm)	Fy (cm)	Ex (cm)	Fy (cm)	Ex (cm)	Fy (cm)	Ex (cm)	Fy (cm)	Ex (cm)	Fy (cm)
1	15	24	34.3	19	34.2951	18.8744	-0.0049	-0.12565	0.0236714	0.0172071		
			34.3	19			-0.0049	-0.12565				
			34.3	19			-0.0049	-0.12565				
			34.2	18.5			0.0951	0.37435				
			34.3	19			-0.0049	-0.12565				
			34.2	18.5			0.0951	0.37435				
2	19	38	28.5	24.75	28.6005	24.8241	0.1005	0.07407	0.0290714	0.0383557		
			28.6	24.8			0.0005	0.02407				
			28.6	24.8			0.0005	0.02407				
			28.6	24.8			0.0005	0.02407				
			28.5	24.75			0.1005	0.07407				
			28.6	24.8			0.0005	0.02407				
3	-25	-20	31.6	-23.4	31.6707	-23.448	0.07068	-0.04796	0.02068	0.0163257		
			31.65	-23.45			0.02068	0.00204				
			31.6	-23.45			0.07068	0.00204				
			31.6	-23.45			0.07068	0.00204				
			31.7	-23.5			-0.02932	0.05204				
			31.7	-23.5			-0.02932	0.05204				
4	-20	-45	26	-27	25.695	-26.659	-0.30501	0.34058	0.0621529	0.4691514		
			26	-27			-0.30501	0.34058				
			25.5	-26.5			0.19499	-0.15942				
			25.7	-26.6			-0.00501	-0.05942				
			25.7	-27.6			-0.00501	0.94058				
			25.7	-27.6			-0.00501	0.94058				

Tabel 3 : Hasil pengujian forward kinematic.

B. Pengujian invers kinematic

a. Tujuan

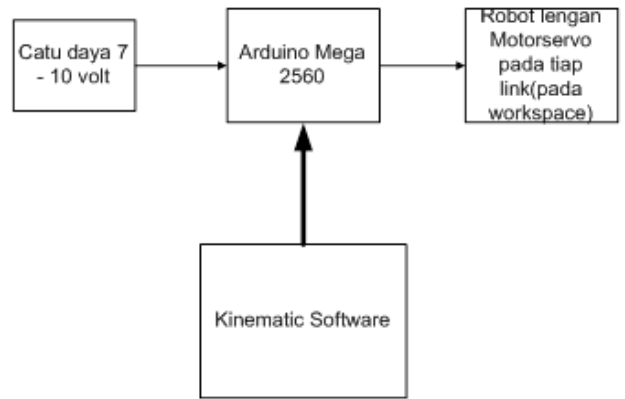
Untuk mengetahui ketelitian posisi *end-effector* dengan metode *forward kinematic*

b. Peralatan yang digunakan

- Robot lengan Smart Arm Robotic AX-12A
- *Arduino Mega 2560*
- Catu daya 7 – 10 volt
- Kabel serial *USB Type A to B*
- Komputer/laptop
- Penggaris siku
- Medan robot lengan

c. Langkah pengujian

- Peralatan dirangkai seperti dalam Gambar 12.
- Memberikan nilai posisi yang diinginkan pada *end effector* melalui *Kinematic Software*.
- Menekan tombol *invers*, perhitungan secara teoritis akan diperlihatkan oleh *software*.
- Mengukur posisi *end-effector* dengan dua buah penggaris siku dan papan penunjuk posisi.



Gambar 12 : Blok Pengujian Forward Kinematic

d. Hasil pengujian

Pada Tabel 4 Menunjukkan hasil pengujian *invers kinematic*.

No	Posisi Tujuan		Solusi Sudut		Posisi terukur		Error		Error Rata-rata		Error Global	
	Ex (cm)	Fy (cm)	Link 1	Link 2	Ex (cm)	Fy (cm)	Ex (cm)	Fy (cm)	Ex (cm)	Fy (cm)	Ex (cm)	Fy (cm)
1	34.2	18.8	15.02624	23.99952	34.3	18.8	-0.3	0.2	-0.2428571	0.2428571		
					34.1	18.7	-0.1	0.3				
					34.3	18.8	-0.3	0.2				
					34.3	18.8	-0.3	0.2				
					34.2	18.7	-0.2	0.3				
					34.2	18.7	-0.2	0.3				
2	28.6	25	18.99987	38.62078	28.6	24.8	0	0.2	0.0428571	0.1142857		
					28.6	24.8	0	0.2				
					28.6	24.8	0	0.2				
					28.5	25	0.1	0				
					28.6	24.8	0	0.2				
					28.5	25	0.1	0				
3	31.7	-23	-25	-20	31.6	-23.2	0.1	0.2	0.0285714	0.3428571		
					31.7	-23.4	0	0.4				
					31.7	-23.4	0	0.4				
					31.7	-23.4	0	0.4				
					31.7	-23.4	0	0.4				
					31.6	-23.2	0.1	0.2				
4	25.7	-26.6	-20	-45	25.7	-26.6	0	0	0	0		
					25.7	-26.6	0	0				
					25.7	-26.6	0	0				
					25.7	-26.6	0	0				
					25.7	-26.6	0	0				
					25.7	-26.6	0	0				

Tabel 4 : Hasil pengujian invers kinematic.

V. KESIMPULAN DAN PROSPEK

Pada sistem pengendalian robot lengan Smart Arm Robotic AX-12A diketahui bahwa motor servo yang digunakan harus memiliki linearitas yang baik. Perancangan antarmuka untuk komunikasi antara robot lengan sementara ini hanya dapat digunakan untuk mengirim nilai sudut dan posisi karena adanya keterbatasan baudrate untuk dapat membaca kondisi servo.

Pada pengujian *invers kinematic* dapat dilihat rata-rata error posisi pada sumbu x yaitu sebesar ± 0.10476 cm dan pada sumbu y yaitu ± 0.23333 cm. Pada pengujian *forward kinematic* dapat dilihat rata-rata error posisi pada sumbu x yaitu sebesar ± 0.00282 cm dan pada sumbu y yaitu ± 0.13526 cm.

Skripsi ini dapat digunakan sebagai modul penunjang praktikum di Laboratorium Mekatronika dan Robotika Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Namun, disarankan untuk menggunakan perangkat pembantu lain untuk menyesuaikan baudrate. Serta mengembangkan pengendalian yang lebih baik dengan *invers dynamic* untuk dapat mengukur posisi, torsi, distribusi massa, percepatan, temperature, tegangan dan lain sebagainya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]Craig, J.J. 2005. *Introduction to Robotics Mechanics and Control*. Prentice Hall. United State of America.
- [2]Syaifulloh, Masykuri. 2010. Sistem Pengendalian Lengan Robot dengan Interfacing Java Berbasis ATMEGA 8535. Naskah Publikasi STMIK AMIKOM Yogyakarta.
- [3]Widayanti, Balza. 2009. Simulator Robot Lengan Enam Derajat Kebebasan Menggunakan OPENGL. Tugas Akhir S1 Teknik Elektro UGM, Yogyakarta.
- [4]Nura, Seif Urfin. 2012. Pengendalian Lintasan End Effector Robot Lengan dengan Pendekatan Geometri Based Kinematics. Malang. Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- [5]Spong, Mark W. 2007. *Robot Dynamics and Control*, John Wiley & Sons. New York.
- [6]Hamidah, Syarifah. 2008. Pengendalian Robot Lengan dengan Menggunakan Pemrograman Visual Basic. Jurnal Ilmu Komputer Fakultas MIPA Universitas Tanjungpura
- [7]Koyuncu, Baki, Mehmet Guzel. 2007. Software Development for kinematic Analysis of a Lynx 6 Robot Arm. Journal of computer engineering
- [8]Nurdinsidiq, Muh. 2004. Pengendalian Lengan Robot ROB3 Berbasis Mikrokontroler AT89C51 Menggunakan Transduser Ultrasonik, Tugas Akhir S1 Teknik Elektro UGM, Yogyakarta.