

RANCANG BANGUN ROBOT LENGAN PEMINDAH BARANG 3 DOF MENGUNAKAN METODE INVERSE KINEMATICS BERBASIS ANDROID

Afrizal Septiano Arisandi¹, Joko Subur², Suryadhi³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Elektro, Universitas Hang Tuah

¹afrizalseptiano@gmail.com

²joko.subur@hangtuah.ac.id

³suryadhi@hangtuah.ac.id

Abstract—Moving object process from one place to another is usually done with the conventional way using human power, then it can certainly to get heavy objects and the farther the distance of displacement, manpower required objects are also getting bigger. It is judged ineffective considering the limitations of human capability in the shift of weight and time limitations of humans in the work. The robot arm was designed to have 3 DOF (Degree of Freedom) and the whole joint is revolute and implemented using servo dynamixel AX-12A. Input from this robot is initial coordinates and final coordinates are then computing by the method of inverse kinematics with an output in the form of large angle of each joint required in order for the robot arm reaches the point coordinates. Results from research that has been done, the robot is able to move the object from point coordinate to another within an average period of 6 to 7 seconds as well as the level error that occurred in the achievement of the desired angle of 0.64%. 3DOF using inverse kinematics method is very effective in carrying out its functions to move an object.

Keywords—arm robot, inverse kinematics, servo dynamixel AX-12A, Android.

Intisari—Proses perpindahan barang dari satu tempat ke tempat yang lain biasanya dilakukan dengan cara konvensional menggunakan tenaga manusia, maka dapat dipastikan semakin berat benda dan semakin jauh jarak perpindahan benda tenaga manusia yang dibutuhkan juga semakin besar. Hal ini dinilai kurang efektif mengingat keterbatasan kemampuan manusia dalam memindahkan barang berat dan keterbatasan waktu manusia dalam bekerja. Berdasarkan permasalahan tersebut diperlukan sebuah robot lengan yang mampu melakukan proses perpindahan barang dari tempat ke tempat lain. Robot lengan ini didesain memiliki 3 DOF (Degree of Freedom) servo dynamixel AX-12A. Input dari robot ini berupa koordinat awal dan koordinat akhir yang kemudian dikomputasikan dengan metode *inverse kinematics* dengan output berupa besar sudut yang dibutuhkan masing-masing joint agar robot lengan mencapai titik koordinat tersebut dan dikendalikan oleh aplikasi pada android melalui bluetooth. Hasil dari penelitian yang telah dilakukan, robot mampu memindahkan barang dari satu titik koordinat ke titik koordinat yang lain dalam kurun waktu rata-rata 8 sampai 9 detik serta tingkat *error* yang terjadi dalam pencapaian sudut yang diinginkan sebesar 1.98% dan dapat dikendalikan jarak jauh dengan maksimal jarak 5 meter. Berdasarkan hasil tersebut dinilai sistem implementasi robot lengan pemindah barang 3DOF dengan menggunakan metode *inverse kinematics* ini sangat efektif dalam menjalankan fungsinya memindahkan barang.

Kata Kunci—robot lengan, inverse kinematics, servo dynamixel AX-12A, Android.

I. PENDAHULUAN

Orang Robot manipulator lengan saat ini telah banyak diaplikasikan dalam dunia industri, seperti pada robot las (*welding robot*), robot pemegang (*handling robot*), robot pelubang/pemotong (*punching robot*), robot mesin perkakas (*tools machine robot*), dan lain sebagainya. Salah satu bentuk robot yang sering dipakai adalah bentuk robot lengan *anthropomorphic*. Bentuk robot lengan ini mempunyai keunggulan fleksibilitas daerah kerja dalam 3 dimensi ruang sehingga sangat cocok untuk diaplikasikan di sebagian besar robot industri. Didunia robot lengan berperan sebagai pengganti manusia, memindahkan barang secara otomatis dari satu tempat ketempat yang lain, dan robot pemindah barang mempunyai dua jenis yaitu statis dan dinamis, dimana robot pemindah barang jenis statis sifatnya diam ditempat dan hanya bisa memindahkan barang atau objek diarea yang dibatasi, sedangkan robot pemindah barang jenis dinamis sifatnya bisa bergerak dan bisa memindahkan barang diarea yang luas [1].

Pada Tahun 2013 Mahasiswa di Universitas Tanjungpura telah melakukan penelitian yang berkaitan dengan pembuatan lengan robot pemindah barang, Robot tersebut menggunakan metode perhitungan kinematic, sehingga pergerakan robot lengan dapat diprediksi, permasalahannya yaitu lengan robot tersebut hanya digunakan untuk simulai pengambilan barang tanpa menghitung kemampuan – kemampuan penggerak untuk mengangkat terhadap beban yang diterima [2].

Dan pada tahun 2019 telah dirancang lengan robot berbasis mikrokontroler arduino uno dengan 4 sudut. Pada penelitian tersebut Permasalahannya yaitu kekuatan maksimal lengan robot untuk mengangkat barang adalah 2,5 ons, dengan panjang lengan beban 230 mm dan lengan kuasa 60 mm pada sudut end efektor 39 cm [3].

Metode *inverse kinematics* merupakan metode pergerakan robot lengan dengan variabel yang diketahui adalah titik koordinat tujuan, sehingga dibutuhkan perubahan besar sudut pada masing-masing joint robot lengan agar robot lengan mampu mencapai titik tersebut [4].

Berdasarkan permasalahan tersebut diperlukan sebuah robot lengan yang mampu melakukan proses perpindahan barang dari satu tempat ke tempat lain sehingga diharapkan mampu mempermudah kegiatan pemindahan barang yang dilakukan serta meningkatkan tingkat efektifitas baik dalam hal waktu, tenaga maupun kualitas dari suatu kegiatan [5]. Robot ini akan bertugas melakukan proses perpindahan barang dari satu titik koordinat ke titik koordinat yang lain. *Input* dari robot ini berupa titik koordinat yang kemudian dikomputasikan dengan metode *inverse kinematics* dengan output berupa besar sudut yang dibutuhkan masing masing *joint* agar robot lengan mencapai titik koordinat tersebut. Rancang bangun robot ini menggunakan *smartphone android* melalui *bluetooth* berbasis mikrokontroler.

Diharapkan penelitian ini dapat menghasilkan lengan robot 3 DOF menggunakan *smartphone android* melalui *bluetooth* untuk memindahkan barang-barang berdasarkan batasan-batasan yang telah ditentukan, Untuk mendeteksi faktor yang mempengaruhi lengan robot pada metode *inverse kinematics*.

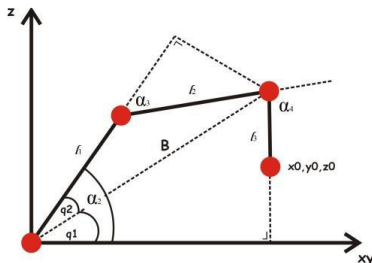
II. LANDASAN TEORI

A. Lengan Robot

Lengan robot atau banyak diaplikasikan di dalam dunia industri, terutama digunakan sebagai pemindah barang dengan berat barang berskala besar, pengendaliannya pun bisa berupa otomatis atau secara manual. Robot otomatis merupakan robot yang dapat bergerak sesuai dengan sistem gerakanya tanpa harus ada campur tangan manusia sedangkan robot manual merupakan robot yang bergerak sesuai dengan sistem gerakanya dengan bantuan operator sebagai pengendalinya [5].

B. Metode *Inverse Kinematics* 3 DOF (*Degree of Freedom*)

Pada perancangan metode *inverse kinematics* didapatkan rumus dari perancangan *link* dan *joint* robot. Perhitungan rumus bertujuan untuk mendapatkan nilai $\theta_1, \theta_2, \theta_3$. Sebelum mencari ketiga nilai θ diasumsikan telah memiliki nilai dari koordinat (x, y, z) dan panjang *link* (L1, L2, L3). [2]



Gambar 1. Invers kinematika robot lengan

Rumus untuk mencari nilai θ_1 dapat dilihat pada persamaan (1).

$$\theta_1 = \text{atan2}(y) \tag{1}$$

Keterangan.

x = nilai koordinat x

y = nilai koordinat y

Pada persamaan (1) dengan *input* nilai koordinat x dan y maka akan didapatkan nilai dari θ_1 .

Setelah mencari nilai θ_1 maka selanjutnya untuk mencari θ_2 dan θ_3 memerlukan nilai c_3 dan s_3 . Nilai c_3 dan s_3 merupakan variabel bantu untuk menyelesaikan rumus θ_2 dan θ_3 . Rumus untuk mencari nilai c_3 dan s_3 dapat dilihat pada persamaan (2) dan persamaan (3).

$$c_3 = \frac{(x^2 + y^2 + (z - L_1)^2 - L_2^2 - L_3^2)}{(2xL_2xL_3)} \tag{2}$$

$$s_3 = \sqrt{1 - c_3^2} \tag{3}$$

Keterangan.

x = nilai koordinat x

L1 = panjang *link* pertama

y = nilai koordinat y

L2 = panjang *link* kedua

z = nilai koordinat z

L3 = panjang *link* ketiga

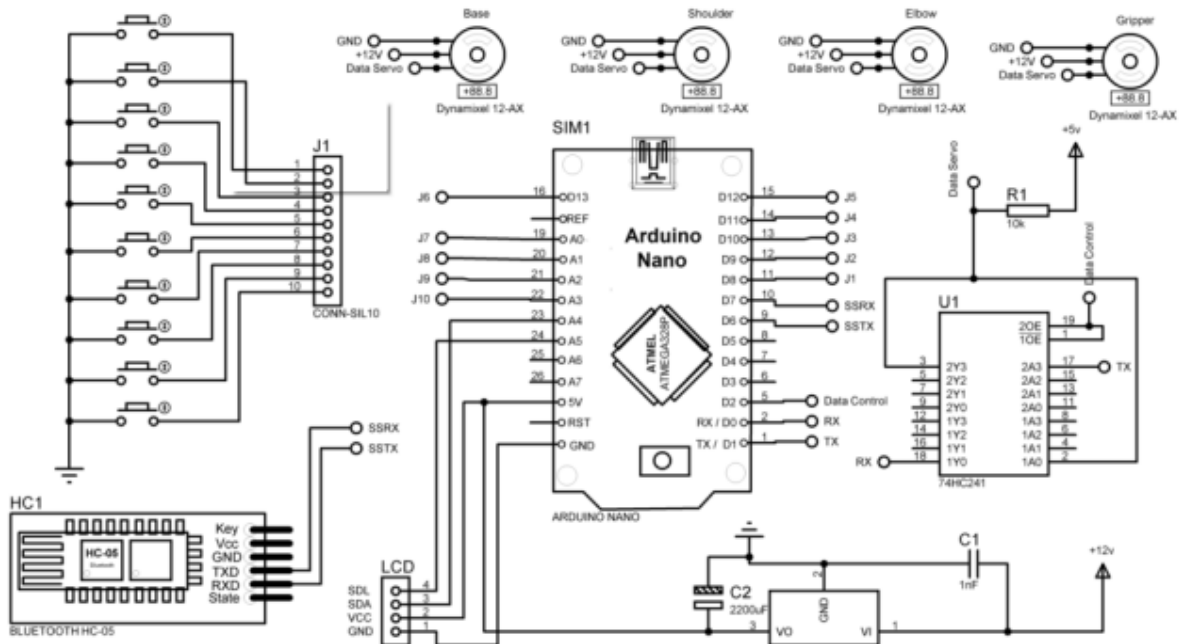
Kemudian selanjutnya adalah mencari nilai θ_3 dengan rumus pada persamaan (4).

$$\theta_3 = \text{atan2}(s_3, c_3) \tag{4}$$

Pada persamaan (4) dengan memasukan nilai dari variable s_3 dan c_3 maka akan didapatkan nilai θ_3 .

Setelah menemukan nilai θ_3 selanjutnya mencari nilai dari θ_2 dengan rumus pada persamaan (5).

$$\theta_2 = \text{atan2}((L_3 \times s_3), (L_2 + (L_3 \times c_3))) \tag{5}$$



Gambar 2. Perancangan rangkaian *hardware* pada robot.

Keterangan.

L2 = panjang *link* kedua

L3 = panjang *link* ketiga

Pada persamaan 5 dengan memasukan nilai L2, L3, c3 dan s3 maka akan didapatkan nilai $\theta 2$.

C. MIT App Inventor

App Inventor adalah sistem perangkat lunak untuk membuat aplikasi pada perangkat Android. Uniknya, App Inventor dibuat tidak seperti sistem pengembangan aplikasi biasa, di mana seorang programmer harus menuliskan baris-baris kode program, melainkan dengan interaksi visual berbasis grafis. Dalam hal ini, App Inventor dapat disebut sebagai sistem terpadu untuk mengembangkan aplikasi berbasis blog-blog grafis (dalam istilah asing: blocks language). Jika kita mengenal Scatch (<http://scratch.mit.edu>), App Inventor bekerja dengan cara yang kurang-lebih sama, tetapi untuk platform.

Perangkat bergerak pada yang berbasis Android [6]. Istilah App Inventor dan inventor digunakan sebagai sinonim. Inventor diuji coba pertama kali pada kalangan terbatas Juli 2010, kemudian dirilis ke publik pada Desember tahun yang sama. Pengembangan Inventor dimotifikasi oleh keyakinan dan perspektif edukasi yang kuat bahwa pembelajaran aktif pemrograman (secara visual) dapat menjadi wahana untuk memicu ide-ide baru dan kreatif [6].



Gambar 3. Software MIT APP Inventor

III. METODE PENELITIAN

A. Perancangan Sistem Robot

Perancangan rangkaian *hardware* pada robot lengan dapat dilihat pada Gambar 2 yang terdiri dari beberapa bagian penyusun. Yaitu komponen masukan, komponen pengendali dan komponen keluaran. Perangkat masukan berupa Arduino dan kontroler berupa Smartphone Melalui Komunikasi Bluetooth, kemudian komponen pengendali adalah IC 74HC241, sedangkan untuk komponen keluaran adalah motor servo. Smartphone berfungsi sebagai masukan ke arduino yang nantinya akan dilanjutkan ke IC 74HC241 dan dilanjutkan ke motor servo dalam bentuk gerakan.

Tabel I
Konfigurasi pin Arduino dan IC74LS241N

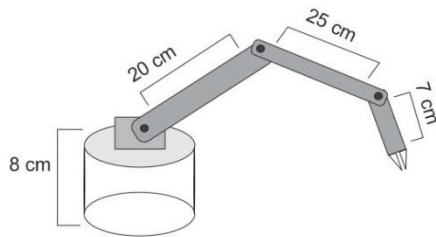
Arduino	IC 74LS241N
Pin 0 (Rx)	Pin 18
Pin 1 (Tx)	Pin 17
Pin 2	Pin 1, Pin 19
GND	Pin 10

Pada Tabel I adalah penyambungan antara pin pada Arduino dan kaki IC 74LS241N. Dapat dilihat Pin 0 (Rx) dan Pin 1 (Tx) pada Arduino disambungkan ke Pin 18 dan Pin 17 pada kaki IC. Kemudian Pin 2 sebagai Data kontrol pada Arduino disambungkan ke Pin 1 dan Pin 19 pada kaki IC. Dan yang terakhir adalah GND pada Arduino disambungkan ke Pin 10 pada kaki IC.

B. Perancangan Desain Link dan Joint

Tinggi dari dasar *base* ke *joint* 2 yaitu 8 cm dan lebar base yaitu 15 cm, *link* 1 sebagai *Shoulder* yaitu 20 cm dan *link* 2 sebagai *Elbow* yaitu 25 cm dan panjang *end-effector* yaitu 7 cm. jadi, total tinggi robot lengan ini adalah 52 cm dan lebar masing -masing link yaitu 3.2 cm. Robot lengan memiliki 3 (tiga) DOF (derajat kebebasan)

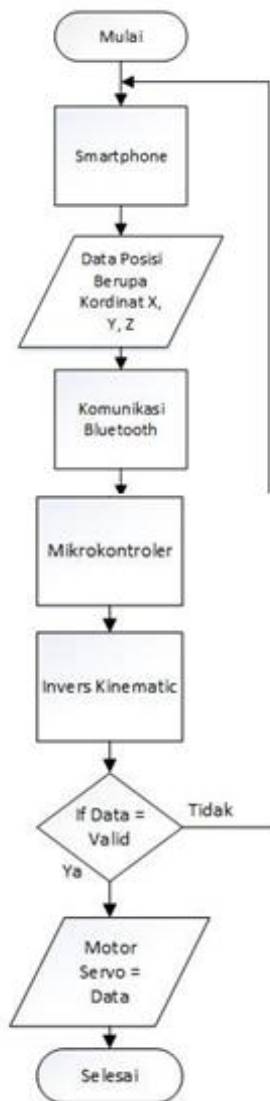
dan tersusun atas lima buah servo yang sama. Yakni 4 buah servo dengan torsi 15 kg (Dynamixel AX-12A). Dimensi robot ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Dimensi robot lengan 3 DoF

C. Flowchart Sistem Kerja Alat

Adapun diagram alur program yang akan digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.



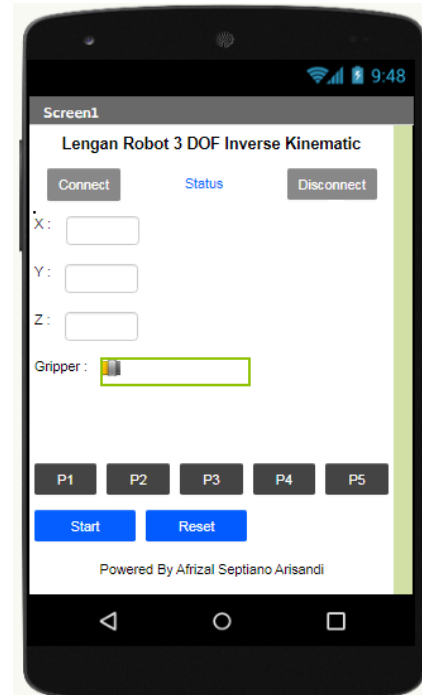
Gambar 5. Flowchart Sistem Pemetaan Ruang

Diagram ini merupakan gambaran umum dimana robot dapat dikendalikan menggunakan komputer berdasarkan perhitungan dan simulasi dengan mengirimkan data ke sistem minimum mikrokontroler menggunakan jalur komunikasi serial. Jalur serial ini

nantinya diakses oleh mikrokontroler sebagai data untuk menginstruksikan pergerakan motor servo.

D. Perancangan Perangkat Lunak Sederhana

Untuk menggerakkan servo pada alat dibutuhkan software yang diprogramkan ke mikrokontroler melalui komunikasi bluetooth, dengan menggunakan program pihak ketiga dengan MIT App Inverter.



Gambar 6. Tampilan program menggerakkan servo dengan software MIT APP Inverter.

Program tersebut dibuat menggunakan MIT App Inverter dan bekerja sesuai dengan flowchart pada Gambar 5. dengan cara mengkoneksikan smartphone ke mikrokontroler menggunakan komunikasi Bluetooth dan memberi nilai / input sesuai tampilan Gambar 6. dan tombol P1 sampai P5 berfungsi untuk menyimpan tiap posisi dan tombol start digunakan untuk memulai program yang sudah disimpan, dan tombol reset berfungsi sebagai menghilangkan program yang sebelumnya disimpan.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dilakukan 3 pengujian yaitu waktu yang dibutuhkan oleh robot untuk mencapai titik koordinat yang telah ditentukan, ketepatan putaran sudut servo yang dihasilkan dari perhitungan rumus yang dilakukan oleh sistem dan ketepatan sudut yang mampu dicapai oleh robot melalui perbandingan metode inverse kinematics.

Pengujian waktu pencapaian koordinat ini bertujuan untuk mengetahui kecepatan gerak robot dalam mencapai titik koordinat yang telah ditentukan. Proses pengukuran waktu akan dilakukan dengan menggunakan timer sebagai alat pengukur waktu dengan mengambil 5 jenis motion yang berbeda. Titik koordinat awal dibuat sama sebagai acuan letak pengambilan barang. Pada tiap motion akan

dilakukan percobaan sebanyak 10 kali yang nantinya dirata-rata untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan pada setiap *motion*. Hasil dari pengujian waktu pencapaian titik koordinat dapat dilihat pada Tabel II.

Tabel II
Hasil Pengujian Waktu Pencapaian Titik Koordinat

Motion	Koordinat	Rata-rata Waktu(s)
1	(0, 26, 28) ke (17,26,25)	8,6843
2	(0, 26, 28) ke (0, 0, 10)	9,1157
3	(0, 26, 28) ke (0, 25,15)	8,7397
4	(0, 26, 28) ke (-15,26,4)	8,9762
5	(0, 26, 28) ke (-34,0,32)	9,0387

Hasil dari pengujian menunjukkan kelima *motion* mendapatkan waktu rata-rata yang hampir sama sekitar 8 sampai 9 detik walaupun dengan jarak yang berbeda. Dari hal ini dapat diketahui bahwa rata rata waktu robot memindahkan barang sekitar 8 sampai 9 detik.

A. Pengujian Ketepatan Sudut Putar Servo

Pengujian ketepatan sudut putar motor servo bertujuan untuk mengetahui akurasi gerak berupa sudut yang dihasilkan motor servo. Proses pengujian ketepatan putaran motor servo ini dilakukan dengan membandingkan hasil dari dua cara pengukuran yaitu pengukuran secara manual menggunakan busur derajat dan pengukura rumus *inverse kinematics* secara sistem pada arduino uno. Hasil pengujian ketepatan sudut putar pada servo 1, servo 2, dan servo 3 dapat dilihat pada Tabel III, Tabel IV, dan Tabel V.

Tabel III
Hasil Pengujian Ketepatan Sudut Putar Servo 1

Koordinat	Sudut Teta1	Sudut yang terukur	Selisih	Error
-27,16,6	149	151.94	2.94	1.97
-26,17,6	147	147.01	0.01	0.01
-14,25,7	120	120.65	0.65	0.54
-10,10,13	135	134.47	0.53	0.39
-9,15,10	121	118.36	2.64	2.18
0,24,10	90	89.76	0.24	0.27
17,17,8	45	45.88	0.88	1.96
24,24,6	45	46.32	1.32	2.93
26,18,6	35	36.51	1.51	4.31
28,31,13	48	49.4	1.4	2.92

Tabel IV
Hasil Pengujian Ketepatan Sudut Putar Servo 2

Koordinat	Sudut Teta2	Sudut yang terukur	Selisih	Error
-27,16,6	48	49.13	1.13	2.35
-26,17,6	49	46.83	2.17	4.43
-14,25,7	55	55.92	0.92	1.67
-10,10,13	85	81.72	3.28	3.86
-9,15,10	81	77.81	3.19	3.94
0,24,10	65	64.99	0.01	0.02
17,17,8	66	68.45	2.45	3.71

Koordinat	Sudut Teta2	Sudut yang terukur	Selisih	Error
24,24,6	40	40.48	0.48	1.2
26,18,6	47	46.89	0.11	0.23
28,31,13	20	20	0	0

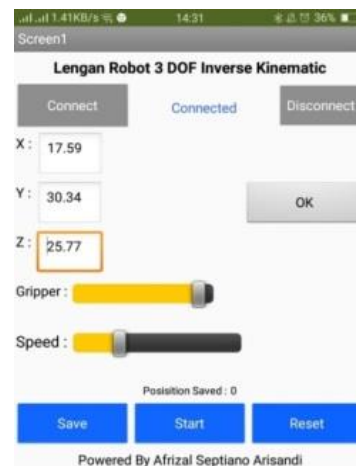
Tabel V
Hasil Pengujian Ketepatan Sudut Putar Servo 3

Koordinat	Sudut Teta3	Sudut yang terukur	Selisih	Error
-27,16,6	80	82.64	2.64	3.3
-26,17,6	82	79	3	3.66
-14,25,7	91	93.12	2.12	2.33
-10,10,13	132	127.97	4.03	3.05
-9,15,10	127	123.33	3.67	2.89
0,24,10	106	106.41	0.41	0.39
17,17,8	108	111.21	3.21	2.97
24,24,6	68	68.61	0.61	0.9
26,18,6	80	79.09	0.91	1.14
28,31,13	0	0	0	0

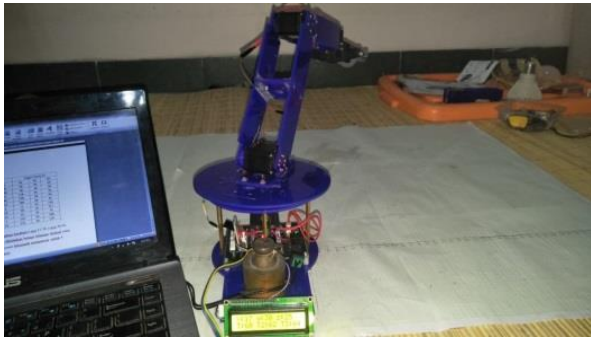
Dari hasil dari kedua tabel dapat ditentukan rata-rata dari persentase *error* servo 1, servo 2, dan servo 3 dengan menjumlahkan seluruh data persentase *error* dibagi banyaknya percobaan sehingga mendapatkan persentase sebesar 1.98%. Perlu diketahui bahwa selisih yang dihasilkan dengan busur derajat terjadi karena akurasi dari busur derajat sebesar 3 derajat.

B. Pengujian Kerja Robot Lengan 3 Dof

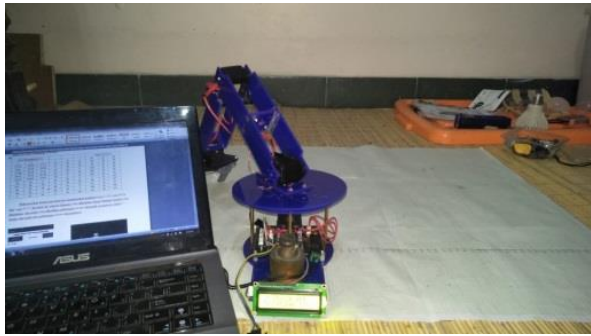
Pada tahapan ini, robot lengan ditugaskan untuk menuju koordinat yang diinginkan titik yang berbeda untuk dipindahkan ke tempat pengumpulan objek (*home*). Penugasan yang pertama adalah ditentukan posisi awal yang diinginkan, misalkan pada posisi (17,0,4) kemudian klik tombol "OK". Setelah itu, ditentukan posisi koordinat pertama dan koordinat kedua, misalkan pada posisi (17,30,25) dan (-15,26,4). Jika robot ingin diperintahkan menuju koordinat 1, input koordinat pertama dan klik "OK", maka robot akan menuju koordinat pertama. Begitu pula untuk menuju koordinat kedua.



Gambar 7. Software pada Robot



Gambar 8. Lengan robot berada dikoordinat pertama



Gambar 9. Lengan robot berada dikoordinat kedua

C. Pengujian Kekuatan Lengan Robot Memindahkan Botol

Pada percobaan ketujuh dilakukan pengujian ketahanan lengan robot pada saat memindahkan botol, pada percobaan kali ini berat botol yang dipindahkan dibagi menjadi 3, dan setiap jenis berat botol dilakukan 15 kali percobaan.

Tabel VI

Pengujian ketahanan lengan robot pada botol kosong

NO	Total Percobaan	Keberhasilan	Kegagalan
1	5	5	0
2	10	15	0
3	15	30	0
Total	30	30	0

Berdasarkan hasil dari 30 kali percobaan pada ke 3 botol berat 10 gram, maka disajikandata total keberhasilan ketahanan lengan robot dan total kegagalan ketahanan lengan robot seperti yang disajikan pada Tabel VI yang menunjukkan bahwa total keberhasilan ketahanan lengan robot sebesar 30 dan total kegagalan sebesar 0 dari 30 percobaan. Dari data tersebut dapat dicari persentase tingkat keberhasilan sebagai berikut.

$$\text{Tingkat Keberhasilan} = \frac{\text{Total Keberhasilan}}{\text{Total Percobaan}} \times 100\%$$

$$\text{Tingkat Keberhasilan} = \frac{30}{30} \times 100\%$$

$$\text{Tingkat Keberhasilan} = 100\% \tag{6}$$

Dari persamaan (6) menunjukkan bahwa tingkat keberhasilan robot dalam ketahanan mengangkat botol sebesar 100% dikarenakan botol beratnya 10 gram dan tidak ada beban.

Tabel VII

Pengujian ketahanan lengan robot pada botol dengan berat 35 gram

NO	Total Percobaan	Keberhasilan	Kegagalan
1	5	5	0
2	10	15	0
3	15	30	0
Total	30	30	0

Berdasarkan hasil dari 30 kali percobaan pada ke 3 botol berat 35 gram, maka disajikandata total keberhasilan ketahanan lengan robot dan total kegagalan ketahanan lengan robot seperti yang disajikan pada Tabel VII yang menunjukkan bahwa total keberhasilan ketahanan lengan robot sebesar 27 dan total kegagalan sebesar 3 dari 30 percobaan. Dari data tersebut dapat dicari persentase tingkat keberhasilan sebagai berikut.

$$\text{Tingkat Keberhasilan} = \frac{\text{Total Keberhasilan}}{\text{Total Percobaan}} \times 100\%$$

$$\text{Tingkat Keberhasilan} = \frac{27}{30} \times 100\%$$

$$\text{Tingkat Keberhasilan} = 90\% \tag{7}$$

Dari persamaan (7) menunjukkan bahwa tingkat keberhasilan robot dalam ketahanan mengangkat botol sebesar 90%. Hal yang mempengaruhi tingkat keberhasilan ketahanan lengan robot tidak dapat 100% kemungkinan disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu kemungkinan motor servo pada lengan robot sudah tidak kuat menahan beban dari botol, dan motor servo pada bagian gripper juga tidak kuat menahan beban dari botol tersebut dan akhirnya motor servo terjadi *overload* dan *overheating* (kondisi motor servo panas karena terlalu lama menahan lengan dan beban).

Tabel VIII

Pengujian ketahanan lengan robot pada botol dengan berat 70 gram

NO	Total Percobaan	Keberhasilan	Kegagalan
1	5	5	0
2	10	15	0
3	15	30	0
Total	30	30	0

Berdasarkan hasil dari 30 kali percobaan pada ke 3 botol berat 70 gram, maka disajikandata total keberhasilan ketahanan lengan robot dan total kegagalan ketahanan lengan robot seperti yang disajikan pada Tabel VIII yang menunjukkan bahwa total keberhasilan ketahanan lengan robot sebesar 22 dan total kegagalan sebesar 8 dari 30 percobaan. Dari data tersebut dapat dicari persentase tingkat keberhasilan sebagai berikut.

$$\text{Tingkat Keberhasilan} = \frac{\text{Total Keberhasilan}}{\text{Total Percobaan}} \times 100\%$$

$$\text{Tingkat Keberhasilan} = \frac{22}{30} \times 100\%$$

$$\text{Tingkat Keberhasilan} = 73\% \tag{8}$$

Dari persamaan (8) menunjukkan bahwa tingkat keberhasilan robot dalam ketahanan mengangkat botol sebesar 73%. Hal yang mempengaruhi tingkat keberhasilan ketahanan lengan robot tidak dapat 100% kemungkinan disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu kemungkinan motor servo pada lengan robot sudah tidak kuat menahan beban dari botol, dan motor servo pada bagian gripper juga tidak kuat menahan beban dari botol dan akhirnya motor servo terjadi *overload* dan *overheating* (kondisi motor servo panas karena terlalu lama menahan lengan dan beban), semakin berat beban yang diberikan maka motor servo menjadi panas dan motor servo berhenti paksa dengan sendirinya

V. KESIMPULAN

Dari hasil tahapan perancangan, implementasi dan analisis hasil pengujian yang dilakukan maka dapat dibuat kesimpulan pada perancangan metode *inverse kinematics* robot lengan untuk proses pemindahan barang dilakukan secara matematis menggunakan fungsi trigonometri. Dari hasil perhitungan matematis kemudian di implementasikan dalam bentuk kode pemrograman pada Arduino, dari hasil pengujian waktu pencapaian titik koordinat dapat dianalisis untuk memindahkan barang pada kelima motion memiliki waktu rata-rata selama 8 - 9 detik, hasil pengujian ketepatan sudut motor servo yang dilakukan sebanyak 10 kali pada 3 buah masing-masing motor servo didapatkan rata-rata persentase *error* sebesar 1.98%, dari hasil 30 pengujian ketahanan robot lengan hanya mampu mengangkat beban 70 gram.

UCAPAN TERIMA KASIH

Mengucapkan terimakasih kepada Program Studi Teknik Elektro Universitas Hang Tuah yang telah memfasilitasi pengerjaan penelitian di workshop robotika.

REFERENSI

- [1] M. I. Afandi, "Simulasi Pergerakan Trajectory Planning Pada Robot Lengan Anthropomorphic", Puslit KIM-LIP, Tangerang, 2009.
- [2] U. Ristian, F. Hadary, and Y. Brianorman, "Visualisasi Dan Pengendalian Gerak Robot Lengan 4 DOF menggunakan Visual Basic Jurusan Sistem Komputer", Fakultas MIPA Universitas Tangjungpura, 2013.
- [3] Syakranullah, "Rancang Bangun Robot Lengan Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno", Prodi Sarjana Teknologi Rekayasa Manufaktur, 2019.
- [4] Setiawan and Eko, "*Robotics lecture nodes* (Indonesia version). Faculty of computer science and engineering", Malang: Brawijaya University, 2015.
- [5] Tri, Gita and Setiawan, "Robot Lengan Pemindah Barang Berdasarkan Ukurannya Berbasis Mikrokontroler", *Eprints Journal.*, vol 5 no. 2, pp. 1 - 5, 2014 Available: <http://eprints.mdp.ac.id/1190/>
- [6] A. D. Rumat, X. Najoran, and B. A. Sugiarto, "Rancang Bangun Aplikasi Berbasis Android Untuk Informasi Kegiatan dan Pelayanan Gereja," *E-Journal Teknik Elektro dan Komputer.*, Vol. 6, no.1,

- 2017.
- [7] Bahri. "Sistem Kontrol Penerangan Menggunakan Arduino Uno Pada Universitas Ichsan Gorontalo", Universitas Ichsan Gorontalo. Vol.09. No.03, 2017.
- [8] Dina Caysar. "Pengaturan Pergerakan Robot Lengan Smart Arm Robotic Ax-12a Melalui Pendekatan Geometry Based Kinematic Menggunakan Arduino". Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. 2014.
- [9] Istiqlal F., Rizal M., Wijaya K. "*Implementasi Sensor Warna Pada Robot Lengan Pemindah Barang Menggunakan Inverse Kinematic*", Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Brawijaya. 2019.
- [10] Pitowarno, Endro. "Robotika, Desain, Kontrol, dan Kecerdasan" Buatan. Penerbit Andi: Yogyakarta. 2006.