

RANCANGAN BANGUN LENGAN ROBOT ARM UNTUK MENGGAMBAR MENGGUNAKAN INVERS KINEMATIK

Zen Nurkholik¹, Farrady Alif², Diah Arie³

¹ Universitas Islam Kediri dan Teknik Elektro

Jl. Sersan Suharmadji 38 Kediri. (0354) 684651, e-mail: zenkholik22@gmail.com

² Universitas Islam Kediri dan Teknik Elektro

Jl. Sersan Suharmadji 38 Kediri. (0354) 684651, e-mail: farradyalif@uniska-kediri.ac.id

³ Universitas Islam Kediri dan Teknik Elektro

Jl. Sersan Suharmadji 38 Kediri. (0354) 684651, e-mail: diahariwk@uniska-kediri.ac.id

ARTICLE INFO

Article history:

Received : 5 – Sept - 2022

Received in revised form : 14 – Sept - 2022

Accepted : 6 – October - 2022

Available online : 6 – October - 2022

ABSTRACT

Robotic arm is a mechanical device that can carry out a manipulation process by using a mechanical arm. Robotic arms are made to resemble human arms that have flexible figures, so they are easy to be used to do a job. Robotic arms have a number of DOF (degrees of freedom) to perform certain movements. This robotic arm design has 3 degrees of freedom or 3-dof where each joint has a rotating or rotational motion that can move on the x, y, and z axes in three-dimensional space as a reference for the motion of this robotic arm using 3 stepper motors as its crust. There are various ways to make a robotic arm design, one of them is to use kinematic inverses, which is finding solutions for every angle in each stepper motor so that the end-effector position can be achieved. With the hope that the design process of this robot arm can help learning about changes in motion in the robot arm to draw using kinematic inverses.

Keywords: Robot arm design, Inverse Kinematics, 3-DOF.

Abstrak

Robot lengan merupakan sebuah alat mekanik yang dapat melakukan sebuah proses manipulasi dengan menggunakan lengan mekanik. Robot lengan dibuat menyerupai lengan manusia memiliki sifat fleksibel sehingga mudah digunakan untuk melakukan suatu pekerjaan. Robot lengan memiliki jumlah derajat kebebasan (*degree of freedom*) DOF untuk melakukan gerakan tertentu. Rancangan robot lengan ini memiliki 3 derajat kebebasan atau 3-dof dimana setiap joint (sendi) memiliki gerakan berputar atau rotasi yang dapat melakukan pergerakan pada sumbu x, y, dan z dalam ruang tiga dimensi sebagai acuan gerak robot lengan ini menggunakan 3 motor stepper sebagai penggerakannya. Ada berbagai cara untuk membuat sebuah rancangan robot lengan, salah satunya adalah menggunakan invers kinematik yaitu, mencari solusi untuk setiap sudut pada tiap *motor stepper* agar posisi *end-effector* dapat tercapai. Dengan harapan proses rancangan robot lengan ini dapat membantu pembelajaran mengenai perubahan gerak pada robot lengan untuk menggambar menggunakan invers kinematik.

Kata kunci: Rancangan Robot lengan, Invers Kinematik, 3-DOF.

Received 5 September - 2022; ; Accepted 6 October - 2022

1. PENDAHULUAN

Robot lengan merupakan sebuah alat mekanik yang dapat melakukan tugas fisik menggunakan program yang telah didefinisikan terlebih dahulu untuk melakukan proses manipulasi dengan menggunakan lengan mekanis serta tingkatan kebebasan dalam bergerak yang dapat di sesuaikan dengan kebutuhan.

Salah satu jenis robot yang sudah banyak digunakan oleh manusia adalah robot manipulator. Manipulator merupakan bagian mekanik yang dapat difungsikan untuk melakukan gerakan tertentu. Robot manipulator dibuat menyerupai lengan manusia memiliki sifat fleksibel sehingga mudah digunakan untuk melakukan pekerjaan yang cepat, akurat dan presisi. Robot manipulator (robot lengan) memiliki jumlah derajat kebebasan (degree of freedom) DOF.

Berdasarkan paparan di atas mengenai robot lengan penulis tertarik untuk membuat sistem otomasi yang dapat digunakan sebagai alat pembelajaran mengenai robot manipulator. Dengan judul penelitian "Rancangan Bangun Lengan Robot Arm Untuk Menggambar Menggunakan Invers Kinematik".

Kinematika adalah pengetahuan dasar atau teori tentang tata cara untuk menggerakkan objek yang menyebabkan benda itu dapat bergerak. Kinematika robot juga terdiri atas pergerakan rotasi dan translasi. Didalam peninjauan kinematika gerak robot, dikenal istilah invers kinematik dan forward kinematik. Pada forward kinematic, nilai diberikan pada setiap sudut motor stepper untuk mendapatkan posisi end-effector, sedangkan pada invers kinematik, nilai yang diberikan berupa posisi dan robot lengan akan mencari solusi untuk setiap sudut pada tiap motor stepper agar posisi end-effector dapat tercapai.[1]

Robot lengan ini memiliki 3 derajat kebebasan atau degree of freedom (3 DOF) dimana setiap joint (sendi) memiliki gerakan berputar atau rotasi yang dapat melakukan pergerakan pada sumbu X, Y, dan Z pada ruang tiga dimensi sebagai acuan gerak robot lengan. Robot lengan ini bergerak dengan 3 motor stepper untuk melakukan perubahan sudut di setiap motor agar pergerakan pada robot lengan dapat diposisikan sesuai perintah.

Diharapkan peneliti dapat membuat suatu rancangan robot lengan, dan membangun sebuah rancangan sistem gerak robot lengan. Untuk mengetahui perubahan sistem gerak robot lengan dapat dilakukan, Dengan cara merubah sudut pada setiap motor stepper untuk mengetahui perubahan gerak terhadap sumbu X, Y, Z dan pengaruh terhadap posisi end-effector robot lengan, serta mendalami ilmu tentang mekanisme pembuatan, pengoperasian, dan pembelajaran mengenai robot lengan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perancangan

Perancangan merupakan sebuah proses pembuatan sketsa awal untuk membuat kerangka robot lengan.[2]

Perancangan dibuat untuk membentuk sebuah desain perancangan robot lengan 3 dof yang dapat melakukan perubahan gerak rotasi terhadap masing-masing dof .[3]

2.2 Perancangan Sistem

Perancangan sistem dibuat dengan 2 model perancangan yaitu pertama adalah perancangan mikrokontroler dan yang kedua merupakan perancangan konsep.[4] Untuk melakukan proses perancangan dilakukan menggunakan komunikasi antara pc (personal computer) dan Mikrokontroler dalam keadaan yang terkendali.[5]

2.3 Konsep Dasar Robot Manipulator

Manipulator merupakan sekumpulan hubungan mekanik yang terdiri dari rangkaian kinematik berupa *link* dan *join* yang disatukan, untuk membentuk sebuah kerangka robot lengan.[6]

2.4 Parameter Denavit Hartenberg (DH)

Parameter dh merupakan empat parameter yang terkait pada kerangka referensi ke tautan rantai kinematik spasial robot untuk menentukan posisi pada masing-masing titik koordinat x, y, dan z.[7]

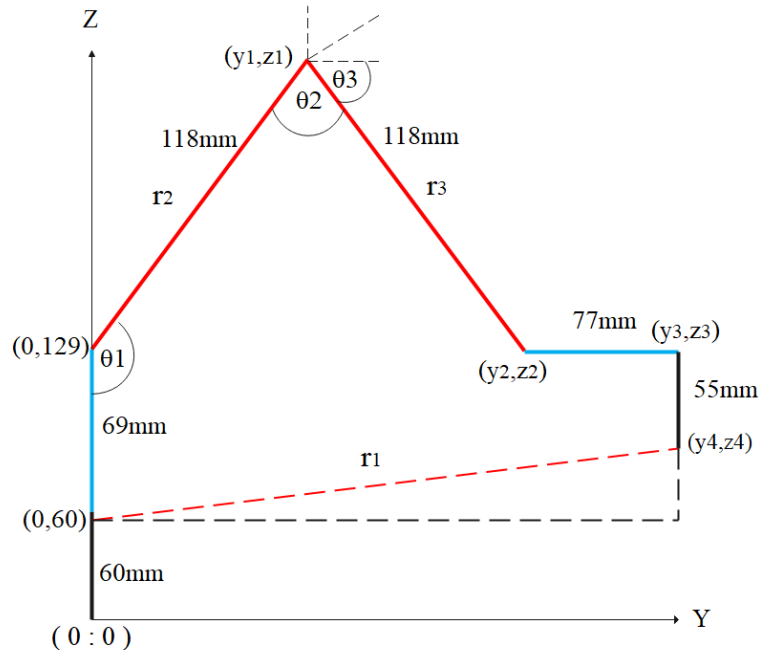
3. METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah *experimental reaserch* atau penelitian eksperimen yaitu, metode sistematis untuk mengetahui pengaruh sebuah variable independent (bebas) yang mempengaruhi perubahan sebuah variabel dependen (hasil) dalam kondisi yang terkontrol.

1. Studi literatur dilakukan mempelajari berbagai sumber referensi atau dasar teori yang berkaitan dengan judul yaitu "Rancang Bangun Lengan Robot Arm Untuk Menggambar Menggunakan Invers Kinematik".
2. Perancangan sistem dan desain lengan robot yang akan diselesaikan pada penelitian ini yaitu "Rancang Bangun Lengan Robot Arm Untuk Menggambar Menggunakan Invers Kinematik" adalah pembuatan rancangan sistem pergerakan robot lengan dan rancangan desain bangun robot lengan untuk menggambar.

3. Implementasi metode, tahapan ini bertujuan mengimplementasikan rancangan metode. Rancangan metode akan diimplementasikan menggunakan invers kinematik untuk mengetahui perubahan gerak robot lengan.
4. Uji coba dan analisa hasil penelitian, pada tahap ini dilakukan pengujian terhadap sistem yang telah dibangun. Pengujian dilakukan sesuai dengan skenario yang telah dirancang. Analisa hasil pengujian dilakukan untuk mengetahui perubahan titik koordinat robot lengan yang telah ditentukan.

Perancangan merupakan penggambaran, perencanaan dan pembuatan *sketsa* untuk mengetahui bentuk perancangan sistem gerak robot lengan.



Gambar 1 : Grafik Gerak Lengan Robot Tampak Samping

- Jarak titik koordinat pada pangkal poros menuju *Dof* ke-1 adalah (0,60) dan jarak titik koordinat poros pada *Dof* ke-1 menuju *Dof* ke-2 adalah (0,69) maka jarak total dari pangkal poros ke *Dof* ke-2 adalah $60 + 69 = 129$ karena gerak sumbu z kearah atas maka bernilai positif.
- Titik koordinat $(y_3, z_3) = (77,0)$ karena gerak sumbu y kearah depan maka bernilai positif.
- Titik koordinat $(y_4, z_4) = (0,-55)$ karena gerak sumbu z kearah bawah maka bernilai negatif.

3.1 Gerak Lengan Robot Pada *Dof* Ke-2

Gerakan lengan robot pada *dof* ke-2 berada dibidang (Y,Z) dengan persamaan

$$y_1 = r_2 \cos \theta_1 \text{ rad} \dots\dots(1)$$

$$z_1 = r_2 \sin \theta_1 \text{ rad} \dots\dots(2)$$

3.2 Gerak Lengan Robot Pada *Dof* Ke-2 Dan *Dof* Ke-3

Gerakan lengan robot pada *dof* ke-2 dan *dof* ke-3 berada dibidang (Y,Z) dengan persamaan :

Pada sumbu y:

$$y_2 = y_1 + r_3 \cos \theta_3 \text{ rad} \dots\dots(3)$$

Pada sumbu z:

$$z_2 = z_1 + r_3 \sin \theta_3 \text{ rad} \dots\dots(4)$$

Persamaan *dof* ke-2 dan *dof* ke-3 pada sumbu y dan z yaitu :

$$y_2 = r_3 \cos (\theta_1 \text{ rad} + \theta_2 \text{ rad}) + r_2 \cos \theta_1 \text{ rad} \dots\dots\dots(5)$$

$$z_2 = r_3 \sin (\theta_1 rad + \theta_2 rad) - r_2 \sin \theta_1 rad \dots\dots\dots(6)$$

Pada sumbu y

$$y_3 = y_2 - y_1 + 77 \dots\dots\dots(7)$$

$$y_4 = y_3 + 0 \dots\dots\dots(8)$$

Pada sumbu z

$$z_3 = z_2 + z_1 + 0 \dots\dots\dots(9)$$

$$z_4 = z_3 + 129 - 55 \dots\dots\dots(10)$$

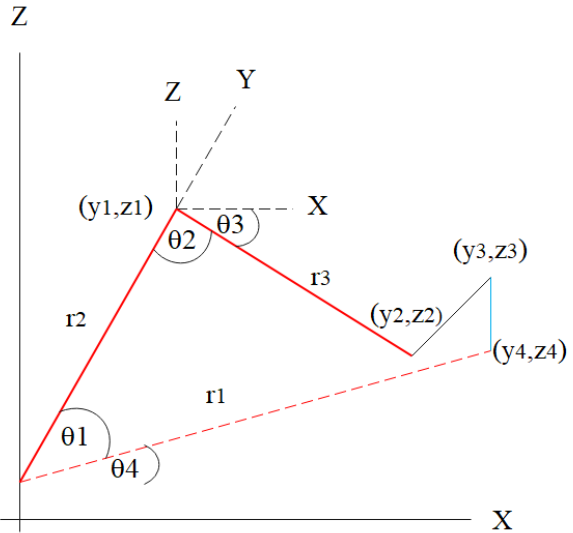
3.3 Gerak Lengan Robot Pada Dof Ke-1

Gerakan lengan robot pada dof ke-1 berada dibidang (X,Y) dengan persamaan :

$$x = r_1 \cos \theta_4 rad \dots\dots\dots(11)$$

$$y = r_1 \sin \theta_4 rad \dots\dots\dots(12)$$

$$r_1 = \sqrt{(A)^2 + (B)^2} \dots\dots\dots(13)$$



Gambar 2 : Grafik Gerak Lengan Robot Dalam Ruang (X,Y, Dan Z)

Persamaan akhir pada dof ke-1 dof ke-2 dan dof ke-3 yaitu :

$$x = \{(r_3 \cos (\theta_1 rad + \theta_2 rad) + r_2 \cos \theta_1 rad) \sin \theta_4 rad\} \dots\dots\dots(14)$$

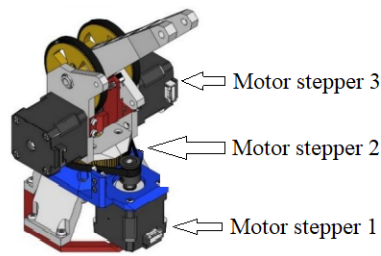
$$y = \{(r_3 \cos (\theta_1 rad + \theta_2 rad) + r_2 \cos \theta_1 rad) \cos \theta_4 rad\} \dots\dots\dots(15)$$

$$z_2 = r_3 \sin (\theta_1 rad + \theta_2 rad) - r_2 \sin \theta_1 rad - (-55) \dots\dots\dots(16)$$

3.4 Desain Rancangan Robot Lengan

Desain rancangan robot lengan dibuat untuk membentuk sebuah rancangan lengan robot yang sempurna. Desain rancangan robot lengan robot ini terdiri dari 2 bagian utama, yaitu bagian bawah dan bagian atas.

1. Bagian bawah terdiri dariudukan robot lengan, dengan 3 motor stepper untuk penggerak sendi. Motor stepper 1 berfungsi sebagai penggerak sendi pertama pada robot lengan.
2. Bagian atas robot lengan terdiri dari 2 gear putar untuk pegerak sendi kedua, ketiga, dan gripeer sebagai dudukan end-efektor robot lengan.



Motor stepper 1 bergerak pada koordinat X
 Motor stepper 2 bergerak pada koordinat Y
 Motor stepper 3 bergerak pada koordinat Z

Gambar 3 : Desain Rancangan Bagian Bawah Robot Arm

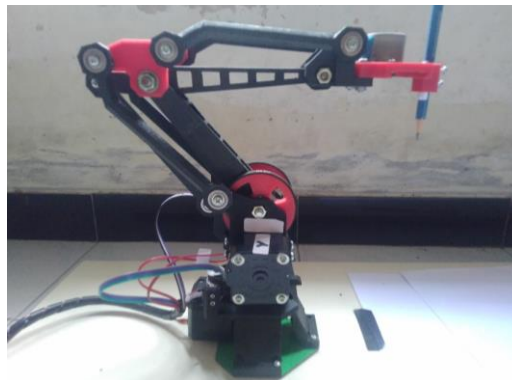


Gambar 4 : Desain Rancangan Bagian Atas Robot Arm

4. HASIL DAN ANALISA

4.1 Hasil Rancangan

Rancangan robot lengan dilakukan untuk membentuk sebuah robot lengan, dengan cara menyatukan bagian-bagian rangka robot yang dilengkapi berbagai komponen pendukung dalam mempermudah pergerakan pada robot lengan.



Gambar Gambar 5 : Hasil Rancangan Robot Lengan

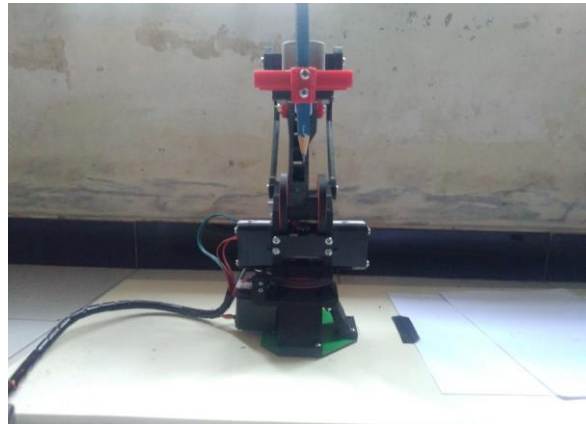
Rancangan robot lengan ini terdiri dari 3 sendi gerak rotasi berbentuk gear yang berfungsi untuk alat penggerak rangka robot lengan yang di gerakan oleh 3 motor stepper untuk merubah posisi gerak robot lengan pada koordinat x, y, dan z.

Batasan Sudut Pada Dof ke-1, sudut yang bergerak pada dof ke-1 adalah sudut θ_4 , dimana sudut ini bergerak pada titik koordinat x dan y dengan persamaan.

$$x = r_1 \cos \theta_4 rad \dots\dots\dots(3.11)$$

$$y = r_1 \sin \theta_4 rad \dots\dots\dots(3.12)$$

Pada posisi awal, robot lengan menempati titik koordinat x dan y (0 : 236) sebesar $0^{\circ}rad$ saat posisi robot lengan dalam keadaan diam. Sedangkan batasan maksimal untuk pergerakan sudut θ_4 pada dof ke-1 adalah 90° atau $1,5708rad$ kearah samping kanan dan kiri dari posisi titik koordinat x pada posisi awal robot lengan.



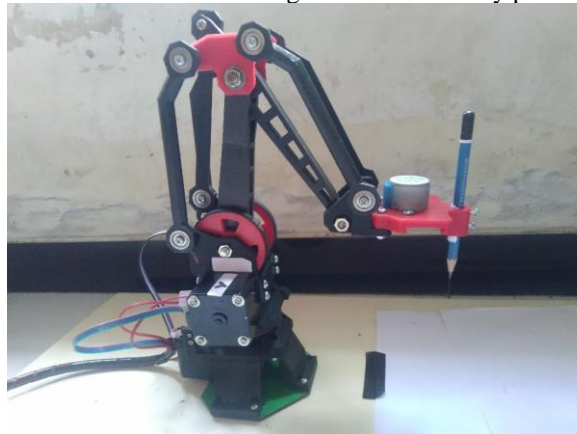
Gambar 6: Hasil Gerak Pada Dof ke-1

Batasan sudut pada Dof ke-2, Sudut yang bergerak pada dof ke-2 adalah θ_1 , dimana sudut ini bergerak pada titik koordinat y dan z dengan persamaan.

$$y_1 = r_2 \cos \theta_1 rad \dots\dots\dots(3.1)$$

$$z_1 = r_2 \sin \theta_1 rad \dots\dots\dots(3.2)$$

Pada posisi awal robot lengan menempati titik koordinat y dan z (236 : 55) sebesar $0rad$ pada saat posisi robot lengan dalam keadaan diam. Sedangkan batasan maksimal untuk pergerakan sudut θ_1 pada dof ke-2 adalah 40° atau $0,6981317rad$ kearah belakang dititik koordinat y pada lembar kerja.



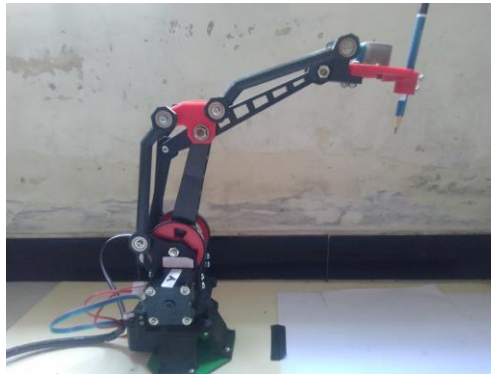
Gambar 7 : Hasil Gerak Pada Dof Ke-2

Batasan yang bergerak pada dof ke-3 adalah θ_2 , dimana sudut ini bergerak pada titik koordinat y dan z, dengan persamaan.

$$y_2 = r_3 \cos (\theta_1 rad + \theta_2 rad) + r_2 \cos \theta_1 rad \dots\dots\dots(5)$$

$$z_2 = r_3 \sin (\theta_1 rad + \theta_2 rad) - r_2 \sin \theta_1 rad \dots\dots\dots(6)$$

Pada posisi awal robot lengan menempati titik koordinat y dan z (236 : 55) sebesar $0rad$ pada saat posisi robot lengan dalam keadaan diam. Sedangkan batasan maksimal untuk pergerakan sudut θ_2 pada dof ke-3 adalah 40° atau $0,6981317rad$ kearah atas pada titik koordinat z.



Gambar 8 : Hasil Gerak Pada Dof Ke-3

4.2 Analisa Gerak Lengan

Analisa gerak lengan dilakukan untuk mengetahui derajat kebebasan terhadap masing-masing (*degree of freedom*) *DOF* untuk membuat perubahan gerak setiap lengan robot yang terhubung dengan 3 motor *stepper* sebagai penggerak lengan robot. Pada masing-masing motor *stepper* mempunyai derajat kebebasan gerak, dimana resolusi putaran pada motor *stepper* adalah 200 per-langkah untuk memenuhi gerakan satu putaran penuh 360° dan untuk derajat per-langkah pada motor *stepper* adalah $1,8^\circ$ per-pulse.

Pada lengan robot terdapat sendi putar berjumlah 3 buah sendi putar berbentuk gear untuk menggerakkan sendi pada lengan robot dengan resolusi 100 per-langkah untuk melakukan gerakan satu putaran penuh 360° dan untuk derajat per-langkah pada sendi putar gerak lengan robot adalah $3,6^\circ$ per-putaran. Dari perbedaan resolusi 100 : 200 antara gigi penggerak sendi robot lengan dengan motor *stepper* atau 1 : 2 .

Untuk melakukan perubahan gerak robot lengan perlu mengubah sudut pada motor *stepper*, yang akan mempengaruhi perubahan posisi end=efektor robot lengan. Pada posisi awal robot lengan menempati masing-masing titik koordinat x, y, dan z (0 , 236 , 55).

Gerak lengan robot pada sumbu x dengan persamaan :

$$x = \{ (r_3 \cos (\theta_1 \text{rad} + \theta_2 \text{rad}) + r_2 \cos \theta_1 \text{rad}) \sin \theta_4 \text{rad} \} \dots\dots\dots(14)$$

Pada posisi awal persamaan sumbu x adalah :

$$x = r_1 \cos \theta_4 \text{rad}$$

$$y_4 = r_2 \cos \theta_1 \text{rad} - r_3 \cos (\theta_1 \text{rad} + \theta_2 \text{rad}) + 77 + 0$$

$$z_4 = r_2 \sin \theta_1 \text{rad} + r_3 \sin (\theta_1 \text{rad} + \theta_2 \text{rad}) + 74$$

Menentukan Panjang lengan robot pada r_1 menggunakan rumus phitagoras :

$$r = \sqrt{(A)^2 + (B)^2} \dots\dots\dots(13)$$

$$r_1 = \sqrt{(y_4 - 0)^2 + (z_4 - 60 - (-55))^2}$$

$$r_1 = \sqrt{(78 - 0)^2 + (74 + 5)^2}$$

$$r_1 = \sqrt{6084 + 6241}$$

$$r_1 = \sqrt{12325}$$

$$r_1 = 111 \text{ mm}$$

$$r_1 = 111 \text{ mm}$$

Perpindahan gerak kearah sumbu x dipegaruhi oleh perubahan gerak derajat pada θ_4 yang mempengaruhi pergeseran lengan r_1 , r_2 , dan r_3 .

Jika diketahui :

$$x = \{(r_3 \cos (\theta_1 rad + \theta_2 rad) + r_2 \cos \theta_1 rad) \sin \theta_4 rad\}$$

$$x = \{(118 \cos (0 rad + 0 rad) + 118 \cos 0 rad) \sin 0,17453 rad\}$$

Maka perubahan pada koordinat x, y, dan z adalah :

$$x = 40,961 mm \approx 41 mm$$

$$y = 232,415 mm \approx 232 mm$$

$$z = 55 mm$$

Dengan perubahan pada motor stepper 1 pada θ_4 sebesar 10° atau $0,17453 rad$, maka menimbulkan perubahan gerak yang merubah posisi koordinat X dari posisi awal 0 menjadi 41mm, posisi koordinat Y dari posisi awal 236mm menjadi 232mm, dan posisi koordinat Z tidak berubah dari posisi awal 55mm.

θ_1	θ_2	θ_4		Sudut (rad)	Posisi Y (mm)	Posisi Z (mm)	Posisi X (mm)
0	0	0	0	0	0	236	55
0	0	5	0	0	0,0872665	235,1019487	55
0	0	10	0	0	0,1745329	232,4146297	55
0	0	15	0	0	0,2617994	227,958495	55
0	0	20	0	0	0,3490659	221,7674585	55
0	0	25	0	0	0,4363323	213,8886377	55
0	0	30	0	0	0,5235988	204,3819953	55
0	0	35	0	0	0,6108652	193,3198825	55
0	0	40	0	0	0,6981317	180,7864886	55

Gambar 9 : Tabel Data Perubahan Sudut θ_4 Terhadap Posisi

Gerak lengan robot pada sumbu y dengan persamaan :

$$y = \{(r_3 \cos (\theta_1 rad + \theta_2 rad) + r_2 \cos \theta_1 rad) \cos \theta_4 rad\} \dots\dots\dots(15)$$

Pada posisi awal persamaan sumbu y adalah :

$$y = r_1 \sin \theta_4 rad \text{ (gerakan sumbu y terhadap sumbu x)}$$

$$y_1 = r_2 \cos \theta_1 rad$$

$$y_2 = r_3 \cos (\theta_1 rad + \theta_2 rad) + r_2 \cos \theta_1 rad$$

$$y_3 = r_3 \cos (\theta_1 rad + \theta_2 rad) - r_2 \cos \theta_1 rad + 77$$

$$y_4 = r_2 \cos \theta_1 rad - r_3 \cos (\theta_1 rad + \theta_2 rad) + 77 + 0$$

Perpindahan gerak kearah sumbu y dipengaruhi oleh perubahan gerak derajat pada θ_1 , θ_2 , dan θ_4 yang mempengaruhi pergeseran lengan r_1 , r_2 , dan r_3 .

Jika diketahui :

$$y = \{(r_3 \cos (\theta_1 rad + \theta_2 rad) + r_2 \cos \theta_1 rad) \cos \theta_4 rad\}$$

$$y = \{(118 \cos (0,08766 rad + 0 rad) + 118 \cos 0,08766 rad) \cos 0 rad\}$$

Maka perubahan pada koordinat x, y, dan z adalah :

$$x = 0 mm$$

$$y = 235,101949 mm \approx 235 mm$$

$$z = 55 mm$$

Dengan perubahan pada motor stepper 2 pada θ_1 sebesar 5° atau $0,08766rad$ dan motor stepper 3 pada θ_2 sebesar 0° atau $0rad$, maka menimbulkan perubahan gerak yang merubah posisi koordinat Y dari posisi awal 236mm menjadi 235mm, posisi koordinat Z tidak berubah dari posisi awal 55mm, dan posisi koordinat X juga tidak mengalami perubahan.

θ_1	θ_2	θ_4	Sudut (rad)		Posisi Y (mm)	Posisi Z (mm)	Posisi X (mm)
0	0	0	0	0	236	55	0
5	0	0	0,0872665	0	235,1019487	55	0
10	0	0	0,1745329	0	232,4146297	55	0
15	0	0	0,2617994	0	227,958495	55	0
20	0	0	0,3490659	0	221,7674585	55	0
25	0	0	0,4363323	0	213,8886377	55	0
30	0	0	0,5235988	0	204,3819953	55	0
35	0	0	0,6108652	0	193,3198825	55	0
40	0	0	0,6981317	0	180,7864886	55	0

Gambar 10 : Tabel Data Perubahan Sudut θ_1 Terhadap Posisi

Gerak lengan robot pada sumbu z dengan persamaan :

$$z_2 = r_3 \sin (\theta_1 rad + \theta_2 rad) - r_2 \sin \theta_1 rad - (-55) \dots\dots\dots(16)$$

Pada posisi awal persamaan sumbu z adalah :

$$z_1 = r_2 \sin \theta_1 rad$$

$$z_2 = r_3 \sin (\theta_1 rad + \theta_2 rad) - r_2 \sin \theta_1 rad - (-55)$$

Perpindahan gerak kearah sumbu z dipegaruhi oleh perubahan gerak derajat pada θ_1 dan θ_2 yang mempengaruhi pergeseran lengan r_1 , r_2 , dan r_3 .

Jika diketahui :

$$z_2 = r_3 \sin (\theta_1 rad + \theta_2 rad) - r_2 \sin \theta_1 rad - (-55)$$

$$z_2 = 118 \sin (0rad + 0,17453rad) - 118 \sin 0rad - (-55)$$

Maka perubahan pada koordinat x, y, dan z adalah :

$$x = 0mm$$

$$y = 234,207315mm \approx 234mm$$

$$z = 75,490485mm \approx 75mm$$

Dengan perubahan pada motor stepper 2 pada θ_1 sebesar 0° atau $0rad$ dan motor stepper 3 pada θ_2 sebesar 10° atau $0,17453rad$, maka menimbulkan perubahan gerak yang merubah posisi koordinat Y dari posisi awal 236mm menjadi 234mm, posisi koordinat Z dari posisi awal 55mm menjadi 75mm, dan posisi koordinat X tidak mengalami perubahan.

θ_1	θ_2	θ_4	Sudut (rad)		Posisi Y (mm)	Posisi Z (mm)	Posisi X (mm)
0	0	0	0	0	236	55	0
0	5	0	0,0872665	0	235,5509744	65,28437764	0
0	10	0	0,1745329	0	234,2073149	75,49048496	0
0	15	0	0,2617994	0	231,9792475	85,54064732	0
0	20	0	0,3490659	0	228,8837293	95,35837691	0
0	35	0	0,6108652	0	214,6599412	122,6820195	0
0	30	0	0,5235988	0	220,1909976	114	0
0	35	0	0,6108652	0	214,6599412	122,6820195	0
0	40	0	0,6981317	0	208,3932443	130,8489379	0

Gambar 11 : Tabel Data Perubahan Sudut θ_2 Terhadap Posisi

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Robot lengan merupakan sebuah alat mekanik yang dapat melakukan proses manipulasi gerak, yang terdiri dari gabungan antara link dan sendi dengan bentuk rancangan yang menyerupai lengan manusia.

2. Robot lengan memiliki 3 derajat kebebasan atau *degree of freedom (3-DOF)* yang dapat melakukan gerakan dengan cara mengubah sudut pada masing- masing motor *stepper* untuk melakukan suatu gerakan yang mengubah posisi *end-efektor*.

3. Robot lengan memiliki keterbatasan gerak untuk melakukan perubahan gerak pada masing – masing motor *stepper* yang mempengaruhi perubahan titik koordinat x sebesar 90° atau $1,57079633 \text{ rad}$, koordinat y sebesar 40° atau $0,6981317 \text{ rad}$, dan koordinat z sebesar 40° atau $0,6981317 \text{ rad}$.

5.2 Saran

Untuk membuat sebuah gambar pada lembar kerja, robot lengan tentunya harus membuat pola perubahan kombinasi gerak lengan yang mempengaruhi *end-efektor*. Untuk mengoperasikan robot lengan perlu membuat simulasi rancangan gerak lengan dengan cara menentukan posisi *end-efektor* dan mengubah sudut pada masing_ masing *motor stepper* agar membentuk pola gambar yang teratur dan dapat dioperasikan secara otomatis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Sianturi, "ANALISIS SISTEM KENDALI INVERS KINEMATICS DALAM MEMPERBAIKI KEMIRINGAN PERGELANGAN (WRIST) PADA ROBOT LENGAN MENGGUNAKAN PROPORTIONAL, INTEGRATIVE, DERIVATIVE (PID) Poliklinik UNIVERSITAS SUMATERA UTARA," *J. Pembang. Wil. Kota*, vol. 1, no. 3, pp. 82–91, 2021.
- [2] H. Dian Aji Mahendra *et al.*, "Rancang Bangun Lengan Robot Penggambar Bidang Datar Dua Dimensi," *IMDeC*, vol. 2, pp. 200–207, 2020, [Online]. Available: <https://publikasi.atmi.ac.id/index.php/imdecatmi/article/view/70>.
- [3] A. A. N. Welly, "Lengan robot pengambar bidang dua dimensi berbasis mikrokontroler dengan PC," 2015.
- [4] A. Yordán-nones, "Heterogeneous Modeling & Design of a Robot Arm Control System," *Control*.
- [5] R. GÜNTÜRKÜN, H. ŞAHİN, and O. HIZ, "Design and Application of Plc Controlled Robotic Arm Choosing Objects According to Their Color," *Electron. Lett. Sci. Eng.*, vol. 16, no. 2, pp. 52–62, 2020, [Online]. Available: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/else/issue/58236/789626>.
- [6] A. Wibowo, "Perancangan Prototype Simulator Robot Caratesian 3 DOF," 2021.
- [7] and R. S. H. 215–221. Denavit, Jacques, "A kinematic notation for lower-pair mechanisms based on matrices," vol. 215–221. 1955.