

## INVERS KINEMATIKA ROBOT ARM 4 DOF MENGGUNAKAN SENSOR LEAP MOTION

Muhammad Ali Hasan Khatami Sinaga<sup>1)</sup>, Daniel Sutopo Pamungkas<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Jurusan Elektro, Politeknik Negeri Batam, Batam Centre, Jl. Ahmad Yani, Tlk. Tering, Kec. Batam Kota, Kota Batam, 29461

<sup>2)</sup>Jurusan Elektro, Politeknik Negeri Batam, Batam Centre, Jl. Ahmad Yani, Tlk. Tering, Kec. Batam Kota, Kota Batam, 29461

E-mail: malihasanKhatami10@gmail.com

E-mail: daniel@polibatam.ac.id

### Abstract

*Robot arms are mechanical arm robots that are programmed to work like human arms and hands. Not a few companies are starting to use robot services to replace human roles. Robot arm or robot arms have joints that are useful for moving the robot to reach the coordinates of the destination. To reach the coordinate point, the robot arm must calculate the degree of each joint, to get the degree of each joint from an input in the form of a coordinate is needed a mathematical calculation called the Kinematic Inversion, with a coordinate input that is intended to produce the output degrees for each the joints. This study aims to be able to directly control the robot arm 4 DoF by using the inverse kinematics formula using a leap motion sensor as an input for robot movement. by using the kinematic inverse mathematical formula and controlling the robot using a leap motion robot sensor can move towards the desired end-point, and in this study the error rate in the calculation and measurement using the arc is below 15%. This is also influenced by the level of servo accuracy that is not good so polynomial regression is used so that servo accuracy is better.*

**Keyword:** Robot Arm, Inverse Kinematics, Leap Motion.

### Abstrak

Lengan robot atau sering juga disebut robot arm adalah robot lengan mekanis yang di program untuk bekerja seperti lengan dan tangan manusia. Tidak sedikit perusahaan-perusahaan mulai menggunakan jasa robot untuk menggantikan peran manusia. Robot arm atau lengan robot memiliki sendi-sendi yang berguna untuk menggerakkan robot agar mencapai titik kordinat yang dituju. Untuk mencapai titik kordinat tersebut maka lengan robot harus memperhitungkan derajat setiap sendinya, untuk mendapatkan derajat setiap sendi dari sebuah inputan yang berupa kordinat tersebut dibutuhkan lah sebuah perhitungan matematis yang dinamakan Invers Kinematik, dengan sebuah input kordinat yang dituju hingga menghasilkan output derajat untuk masing-masing sendi. Penelitian ini bertujuan untuk dapat mengontrol secara langsung pergerakkan robot arm 4 DoF dengan menggunakan rumus invers kinematics menggunakan sensor leap motion sebagai input pergerakkan robot. dengan menggunakan rumus matematika inverse kinematik serta pengontrolan robot menggunakan sensor leap motion robot dapat bergerak menuju end-point yang diinginkan, dan pada penelitian ini tingkat error pada perhitungan dan pengukuran menggunakan busur yaitu dibawah 15%. Ini juga dipengaruhi oleh tingkat akurasi servo yang kurang baik hingga digunakanlah regresi polynomial agar akurasi servo lebih baik.

**Kata Kunci :** Robot Arm, Invers Kinematik, Leap Motion.

## **PENDAHULUAN**

### **Latar Belakang Masalah**

Peran robotika sangatlah besar dalam kehidupan, sehingga manusia selalu berusaha mengembangkan pengetahuan-pengetahuan tentang robot. Robot adalah seperangkat mekanik yang dapat melakukan tugas fisik secara berulang, dalam era industri 4.0 banyak perusahaan yang secara perlahan mulai memberikan peranan robot pada industrinya, salah satunya adalah robot arm.

Robot arm atau lengan robot memiliki motor servo untuk menggerakkan setiap joint untuk masing-masing sendinya. Lengan robot harus mampu bergerak menuju tempat yang dituju, Bergeraknya lengan tersebut tak lepas dari sudut-sudut tiap joint. Layak nya manusia ketika tangan ingin mengambil sesuatu, harus ada pergerakan pada sudut-sudut dari masing-masing siku agar tangan dapat mengambil objek dengan tepat. Untuk mencari sudut pada masing-masing joint robot arm, diperlukan sebuah metode yang dinamakan Invers kinematics.

Invers kinematics adalah sebuah perhitungan matematika dengan sebuah input variable yaitu titik kordinat yang dituju, sehingga menghasilkan output sudut untuk menggerakkan setiap joint pada lengan robot tersebut.

Dengan adanya rumus ini manusia atau operator tak perlu lagi memikirkan berapa derajat yang dibutuhkan robot arm untuk mencapai end-point yang diinginkan. Dengan adanya perhitungan matematika ini, Manusia atau operator akan dimudahkan dengan hanya memasukkan koordinat yang dituju, yang berupa koordinat X, Y, dan Z.

Pada kesempatan ini dilakukan penelitian mengenai perhitungan rumus matematik pada robot lengan yaitu invers kinematik serta mengontrolnya dengan menggunakan posisi tangan atau koordinat tangan dengan menggunakan sensor leap motion, Kemudian mengaplikasikannya pada robot lengan tersebut.

### **Rumusan Masalah**

Pada bagian ini penyusun merumuskan masalah dalam penelitian sebagai berikut :

1. Bagaimana cara mengendalikan robot lengan menggunakan sensor leap motion ?
2. Mengendalikan robot lengan menggunakan invers kinematics

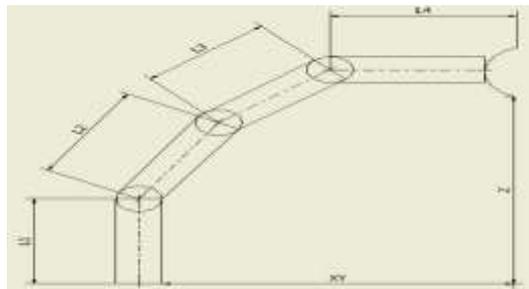
## Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah peneliti dapat mengontrol secara langsung pergerakan robot arm 4 DoF dengan menggunakan rumus invers kinematics menggunakan sensor leap motion sebagai input pergerakan robot.

## METODE PENELITIAN

### Invers Kinematik

Invers Kinematik adalah perhitungan matematika dengan sebuah input variable koordinat titik yang dituju untuk menentukan output setiap sudut joint yang harus diberikan pada lengan robot. Ketentuan pergerakan robot sehingga mencapai koordinat yang diinginkan dinamakan perencanaan gerak. Invers Kinematics mengubah rencana gerak menjadi pergerakan sendi aktuator secara bersamaan untuk robot. Tujuan dari Invers Kinematik adalah untuk menghitung vector sendi (DoF) yang membuat end effector untuk mencapai tujuan yang diinginkan. Berikut adalah desain Robot lengan 4 DoF yang digambarkan pada Gambar 1. Vector 4 DoF



Gambar 1. Vector 4 DoF (Dokumentasi Penulis)

Dalam merancang desain lengan robot bertujuan untuk mendapatkan nilai sudut pada masing-masing joint ( $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$ ) dengan nilai yang kita ketahui adalah kordinat  $x, y, z$  dan  $L_1, L_2, L_3, L_4$  sebagai panjang antara joint satu ke joint lainnya.

Untuk mendapatkan  $\theta_1$  maka didapat persamaan (1) .

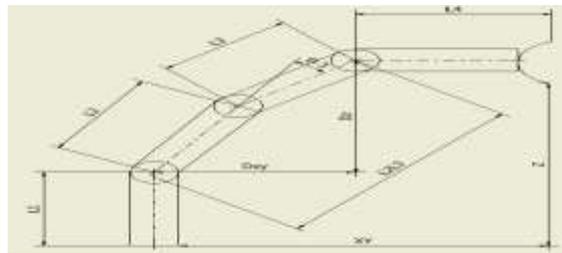
$$\theta_1 = \text{atan2}(x, y) \quad (1)$$

Keterangan.

$x$  = nilai kordinat  $x$

$y$  = nilai kordinat  $y$

Dengan memasukkan nilai kordinat x dan y maka kita akan mendapatkan nilai dari  $\theta_1$ . Maka langkah selanjutnya adalah mencari nilai  $\theta_2, \theta_3, \theta_3$ .



Gambar 2. Keterangan Gambar Mencari  $\theta_3$  (Dokumentasi Penulis)

Pada Gambar 2 Untuk mencari  $\theta_3$ , sebelum nya kita harus mencari panjang sudut miring antara L2 dan L3 pada gambar diatas diberikan variable dengan penamaan L2 L3 maka perumusannya adalah sebagai berikut ;

$$L_2 L_3 = \sqrt{(xy - L_4)^2 + (z - L_1)^2} \quad (2)$$

Keterangan.

xy = panjang keseluruhan lengan di koordinat x dan y

z = nilai kordinat z

L1 = tinggi dari dasar ke joint 2

L4 = panjang dari joint 4 ke gripper

$L_2 L_3 = D_{xy} D_z$  = panjang sudut miring antara L2 dan L3 atau panjang sudut miring antara panjang  $D_{xy}$  dan  $D_z$ , Kemudian untuk mencari  $\theta_3$  maka ;

$$\theta_3 = 180^\circ - \text{Arc Cos} \left( \frac{(L_2^2 + L_3^2) - L_2 L_3^2}{2 * L_2 * L_3} \right) \quad (3)$$

Keterangan.

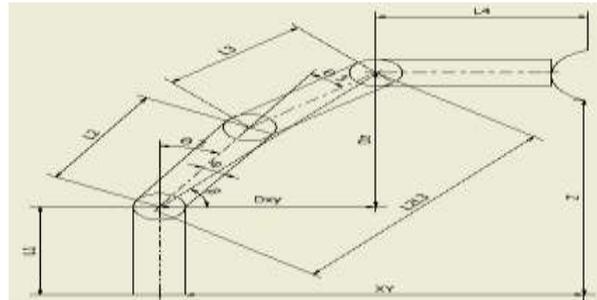
$\theta_3$  = sudut joint 3

L2 = panjang dari joint 2 ke joint 3

L3 = panjang dari joint 3 ke joint 4

$L_2 L_3 = D_{xy} D_z$  = panjang sudut miring antara L2 dan L3 atau panjang sudut miring antara panjang  $D_{xy}$  dan  $D_z$

Langkah selanjutnya adalah mencari  $\theta_2$  ;



Gambar 3. Keterangan Gambar Mencari  $\theta_2$  (Dokumentasi Penulis)

Pada Gambar 3 adalah keterangan untuk mencai rumusan  $\theta_2$ , dalam hal ini kita harus mencari nilai  $\beta$  dan  $\Psi$  hingga mendapatkan  $\theta_2$  ;

$$\beta = \text{Arc Cos} \left( \frac{(L_2 L_3^2 + D_{xy}^2) - D_z^2}{2 * L_2 L_3 * D_{xy}} \right) \quad (4)$$

Keterangan.

- $\beta$  = sudut antara L2 L3 dan Dxy
- Dxy = hasil pengurangan dari koordinat xy dan L4
- Dz = hasil pengurangan dari koordinat z dan L1
- L2 L3 = Dxy Dz = panjang sudut miring antara L2 dan L3 atau panjang sudut miring antara panjang Dxy dan Dz

$$\Psi = \text{Arc Cos} \left( \frac{(L_2^2 + L_2 L_3^2) - L_3^2}{2 * L_2 * L_3} \right) \quad (5)$$

Keterangan.

- $\Psi$  = sudut antara L2 dan L2 L3
- L2 = hasil pengurangan dari koordinat xy dan L4
- L3 = hasil pengurangan dari koordinat z dan L1
- L2 L3 = panjang sudut miring antara L2 dan L3 atau panjang sudut miring antara panjang Dxy dan Dz

Maka  $\theta_2$  adalah ;

$$\theta_2 = \beta + \Psi \text{ Jika } \theta_2 > \theta \quad (6)$$

$$\theta_2 = \beta - \Psi \text{ Jika } \theta_2 < \theta \quad (7)$$

untuk mencari  $\theta_4$  adalah sebagai berikut ;

$$\theta_4 = \theta - \theta_2 - \theta_3 \quad (8)$$

Keterangan.

- $\theta_2$  = sudut joint 2

- $\theta_3$  = sudut joint 3  
 $\theta_4$  = sudut joint 4

### **Pengujian**

Pengujian dilakukan untuk mendapatkan hasil serta analisa dan pembahasan, serta melihat kondisi sensor dan motor servo, hingga sistem dapat bekerja dengan baik, adapun pengujian dilakukan dengan beberapa tahapan yaitu :

#### **1. Pengujian Motor Servo**

Pengujian motor servo dilakukan dengan cara memasukkan input derajat untuk melihat servo bekerja dengan baik

#### **2. Pengujian Sensor Leap Motion**

Pengujian sensor dilakukan dengan meletakkan telapak tangan beberapa centimeter diatas sensor dan menggerakkan tangan untuk melihat koordinat tangan yang dikeluarkan dari sensor serta melihat sensor sudah bekerja dengan baik

#### **3. Pengujian Sistem Inverse Kinematik**

Pengujian alat dilakukan dengan cara membandingkan sudut pada masing-masing servo dengan perhitungan dari rumus invers kinematik, Untuk melihat hasil akurasi pada masing-masing sudut setiap joint robot maka digunakanlah perhitungan sebagai berikut :

$$Error (\%) = \frac{\theta_{Servo} - \theta_{Perhitungan}}{100}$$

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Data yang diambil untuk pengujian adalah data dari output perhitungan inverse kinematik dan sudut servo yang diukur menggunakan busur. Nilai output dari keluaran akan tergantung pada input yang diberikan. Output dari rumus inverse adalah berupa derajat, data tersebut akan memerintahkan servo untuk bergerak sesuai dengan yang dihasilkan dari rumus tersebut. Kemudian hasil itu akan dibandingkan antara pergerakan servo dan perhitungan dari rumus invers kinematik, Adapun hasil pengujian yang dilakukan di beberapa titik sebagai berikut :

Tabel 1.  
 Perbandingan Output Servo dan Invers Kinematik

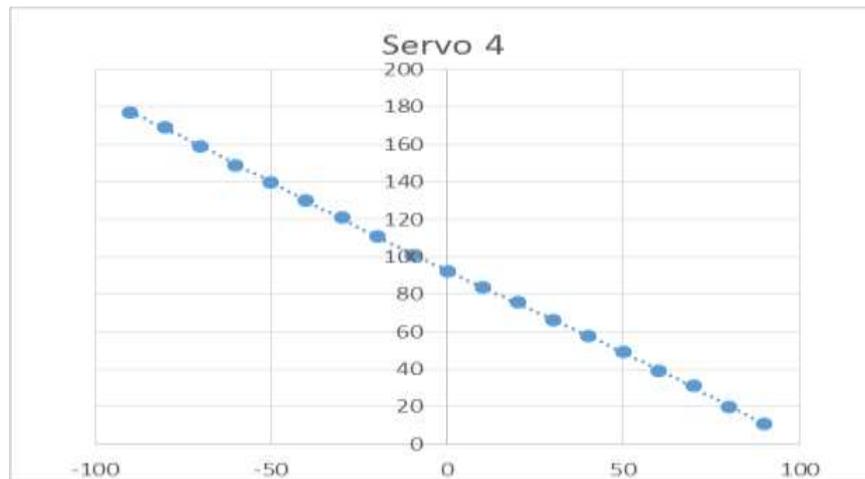
Input (mm)			Perhitungan (derajat)				Servo (derajat)				$Error (\%) = \frac{\theta Servo - \theta Perhitungan}{100}$ Error			
X	Y	Z	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
0	0	50	0	81,38	99,68	-91,07	0	82	100	-91	0,00%	-0,62%	-0,32%	-0,07%
15	0	50	0	81,73	919,341	-83,66	0	82	94	-88	0,00%	-0,27%	-2,07%	4,34%
30	0	50	0	83,31	818,075	-75,12	0	84	87	-78	0,00%	-0,69%	-5,19%	2,88%
45	0	50	0	86,24	70,047	-66,29	0	86	72	-69	0,00%	0,24%	-1,95%	2,71%
60	0	50	0	90,85	557,711	-55,77	0	89	54	-58	0,00%	1,85%	1,77%	2,23%
75	0	50	0	98,43	362,689	-44,7	0	97	36	-45	0,00%	1,43%	0,27%	0,30%
86	0	50	0	114,1	214,394	-26,23	0	110	3	-27	0,00%	4,08%	-0,86%	0,77%
15	15	50	45	81,94	899,992	-81,94	45	84	90	-83	0,00%	-2,06%	0,00%	1,06%
30	30	50	45	85,63	722,087	-67,84	45	86	72	-72	0,00%	-0,37%	0,21%	4,16%
45	45	50	45	92,33	517,148	-54,04	45	94	51	-55	0,00%	-1,67%	0,71%	0,96%
60	60	50	45	109,4	118,742	-31,23	45	104	9	-30	0,00%	5,36%	2,87%	-1,23%
75	75	50												
85	85	50								NAN				
-15	15	100	135	54,12	105,27	-69,4	138	60	116	-74	-3,00%	-5,88%	-10,73%	4,60%
-30	30	135	135	43,4	93,192	-46,6	138	43	95	-51	-3,00%	0,40%	-1,81%	4,40%
-45	45	150	135	47,41	74,36	-31,78	138	50	79	-33	-3,00%	-2,59%	-4,64%	1,22%
-60	60	165	135	57,3	49,563	-16,87	138	54	52	-14	-3,00%	3,30%	-2,44%	-2,87%
-75	75	165												
-95	85	165								NAN				

Pada tabel 1. Perbandingan output servo dan invers kinematik, hasil pergerakan servo sudah melalui tahap regresi polynomial. Hal ini bertujuan agar memperbaiki pergerakan servo menjadi lebih baik serta berperan menggantikan nilai yang diberikan pada invers kinematik, hal ini dilakukan dikarenakan hasil dari pergerakan invers kinematik berupa derajat antara -90 derajat sampai 90 derajat, sementara input sebuah servo ialah 0 derajat sampai 180 derajat, berikut adalah konversi data untuk dilakukan regresi polynomial pada salah satu servo.

Tabel 2.  
 Regresi Polynomial  
 Serv.4

data real		data konversi	
Output	Input	Output	Input
0	11	90	11
10	20	80	20
20	31	70	31
30	39	60	39
40	49	50	49
50	58	40	58
60	66	30	66
70	76	20	76
80	84	10	84
90	92	0	92

100	101	-10	101
110	111	-20	111
120	121	-30	121
130	130	-40	130
140	140	-50	140
150	149	-60	149
160	159	-70	159
170	169	-80	169
180	177	-90	177



Gambar 4. Grafik Tabel Regresi Polynomial

Dari tabel serta grafik diatas maka didapat lah perhitungan matematis regresi polynomial sebagai berikut :

$$y = 8E-12x^6 + 8E-10x^5 - 2E-07x^4 - 1E-05x^3 + 0,0011x^2 - 0,887x + 92,574$$

keterangan.

x = input servo

y = output servo

## SIMPULAN

Berdasarkan hasil dan analisa pembahasan, dapat disimpulkan ialah Rumus inverse kinematik yang digunakan berhasil, Tingkat persentasi error pada robot lengan yang terukur menggunakan busur adalah dibawah 15%, Untuk melakukan penelitian lanjutan sebaiknya menggunakan servo dengan tingkat akurasi yang baik, disarankan melakukan penelitian selanjutnya yaitu forward kinematik

**DAFTAR PUSTAKA**

- Leap Motion Developer. Leap Motion. Available from : <https://developerarchive.leapmotion.com/documentation/java/api/Leap.Device.html>
- Rimas Oktama, Rizal Maulana, Gembong Edhi Setyawan (2018). Implementasi Robot Lengan Pemindah Barang 3 DOF Menggunakan Metode Inverse Kinematics. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 2, 2810-2816. Retrieved from the Robotic Arm Wiki: [https://id.wikipedia.org/wiki/Robotic\\_Arm](https://id.wikipedia.org/wiki/Robotic_Arm)
- Autorob. IK\_ClosedForm Retrieved from [https://autorob.org/autorob\\_11\\_ik\\_closedform](https://autorob.org/autorob_11_ik_closedform)
- Lin Shao (2016), *Hand movement and gesture recognition using Leap Motion Controller*. Retrived from [https://stanford.edu/class/ee267/Spring2016/report\\_lin.pdf](https://stanford.edu/class/ee267/Spring2016/report_lin.pdf)
- Retrieved from the Robot Wiki: [http://wiki.laptop.org/go/OLPC\\_Peru/Arahuay](http://wiki.laptop.org/go/OLPC_Peru/Arahuay)