

ANALISIS KINEMATIKA LENGAN ROBOT 5 DOF PADA MODUL FINAL PACKING MENGGUNAKAN METODE DENAVIT-HARTENBERG

¹Mokhamad Is Subekti, ²Fatkur Rachmanu, ³Lukman Nulhakim,
⁴Aditya Yudhistira Dwiputra
Teknologi Rekayasa Manufaktur, Politeknik Enjinering Indorama
e-mail: subekti.mokhamad@gmail.com

Abstrak

Teknologi robotika telah menjadi elemen penting dalam meningkatkan produktivitas dan efisiensi di sektor industri. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinematika lengan robot 5 Degree of Freedom (DOF) pada modul Final Packing menggunakan metode Denavit-Hartenberg. Lengan robot ini dirancang untuk memindahkan barang secara otomatis dengan dukungan mikrokontroler Arduino Uno, Motor Servo MG966R dan driver motor servo PCA 9685. Penelitian mencakup perancangan, perakitan, pemrograman, pengujian sistem robotik, dan analisis kinematika lengan robot. Analisis kinematika lengan robot dilakukan pada tiga kondisi utama, yaitu posisi stand by dengan hasil sumbu X = 75,67 mm, sumbu Y = - 63,50 mm, dan sumbu Z = 155,00 mm; lalu kondisi mengambil barang dengan hasil sumbu X = 103,25 mm, sumbu Y = 123,04 mm, sumbu Z = 33,02 mm; dan kondisi menaruh barang dengan hasil sumbu X = 90,72 mm, sumbu Y = - 145,04 mm, sumbu Z = - 78,43 mm. Hasil perhitungan kinematika kemudian dibandingkan dengan data hasil pengukuran aktual posisi gripper dengan selisih rata-rata tidak melebihi 3% dan dibandingkan dengan data simulasi RoboAnalyzer dengan selisih rata-rata tidak melebihi 1%. Hasil perbandingan menunjukkan akurasi tinggi dalam pemindahan barang dengan perhitungan kinematika yang valid, memberikan kontribusi pada pengembangan sistem otomasi dan bahan pembelajaran robotika bagi mahasiswa.

Kata kunci : Kinematika Robot, 5 DOF, Denavit-Hartenberg, Lengan Robot, Otomasi-Industri.

Abstract

Robotics technology has become an important element in improving productivity and efficiency in the industrial sector. This research aims to analyze the kinematics of the 5 Degree of Freedom (DOF) robot arm in the Final Packing module using the Denavit-Hartenberg method. This robot arm is designed to move goods automatically with the support of Arduino Uno microcontroller, MG966R Servo Motor and PCA 9685 servo motor driver. The research includes designing, assembling, programming, testing the robotic system, and analyzing the kinematics of the robot arm. The kinematics analysis of the robot arm was carried out in three main conditions, namely the stand-by position with the results of the X axis = 75.67 mm, Y axis = - 63.50 mm, and Z axis = 155.00 mm; then the condition of taking goods with the results of the X axis = 103.25 mm, Y axis = 123.04 mm, Z axis = 33.02 mm; and the condition of putting goods with the results of the X axis = 90.72 mm, Y axis = - 145.04 mm, Z axis = - 78.43 mm. The kinematics calculation results are then compared with the actual measurement data of the gripper position with an average difference not exceeding 3% and compared with RoboAnalyzer simulation data with an average difference not exceeding 1%. The comparison results show high accuracy in moving goods with valid kinematics calculations, contributing to the development of automation systems and robotics learning materials for students.

Keywords : Robot Kinematics, 5 DOF, Denavit-Hartenberg, Arm Robot, Industrial-Otation.

1. PENDAHULUAN

Penggunaan teknologi dalam industri merupakan salah satu cara untuk meningkatkan produktivitas dan menekan biaya produksi [1] [2]. Salah satu dari perkembangan teknologi yang digunakan dalam industri adalah robot yang dirancang untuk berbagai keperluan. Robot dimanfaatkan untuk membantu pekerjaan manusia agar dapat menyelesaikan pekerjaan lebih efektif dan akurat [3]. Berdasarkan berbagai jenis robot yang ada, lengan robot atau robot manipulator merupakan salah satu jenis robot yang paling banyak diterapkan, khususnya pada pekerjaan di industri [4]. Lengan robot melakukan gerak sesuai dengan pemrograman pengguna, dalam memahami pergerakan lengan robot ini pengguna perlu memahami kinematika lengan robot [5].

Kinematika robot digunakan untuk mempelajari pergerakan dari bagian-bagian robot tanpa memperhatikan gaya yang menyebabkan pergerakan itu [6]. Perpindahan setiap bagian penyusun lengan robot akan menghasilkan perubahan posisi akhir dari end-effector lengan robot [7]. Metode Denavit-Hartenberg digunakan sebagai salah satu metode untuk menghitung kinematika lengan robot menggunakan parameter – parameter seperti di (*link offset*), a_i (*link length*), α_i (*link twist*), dan θ_i (*joint angle*) yang dihitung dalam rumus matriks transformasi homogen [8] [9].

Modul *Final Packing* merupakan prototipe mesin pengepakan produk *Disc Carbon* yang digunakan sebagai modul praktik mahasiswa [10]. Pada Modul *Final Packing* Kemasan *Disc Carbon*, membutuhkan serangkaian komponen yang mampu memindahkan barang untuk keperluan pengemasan *Disc Carbon*. Berdasarkan permasalahan tersebut dibutuhkan sebuah lengan robot yang mampu melakukan proses perpindahan barang dari satu tempat ke tempat lain sehingga diharapkan mampu untuk memnuhi kebutuhan pengemasan *Disc Carbon* serta dilakukan analisis pergerakan kinematika lengan robot tersebut, lengan robot ini juga diharapkan mampu digunakan sebagai media pembelajaran mengenai kinematika robot bagi mahasiswa.

Topik yang diambil pada tugas akhir ini mengacu pada analisis pergerakan lengan robot 5 *Degree of Freedom* yang terdapat pada Modul *Final Packing* kemasan *Disc Carbon*. Lengan robot yang digunakan didukung 5 buah motor servo MG966R, mikrokontroler Arduino Uno, dan PCA 9685 sebagai driver motor servo.

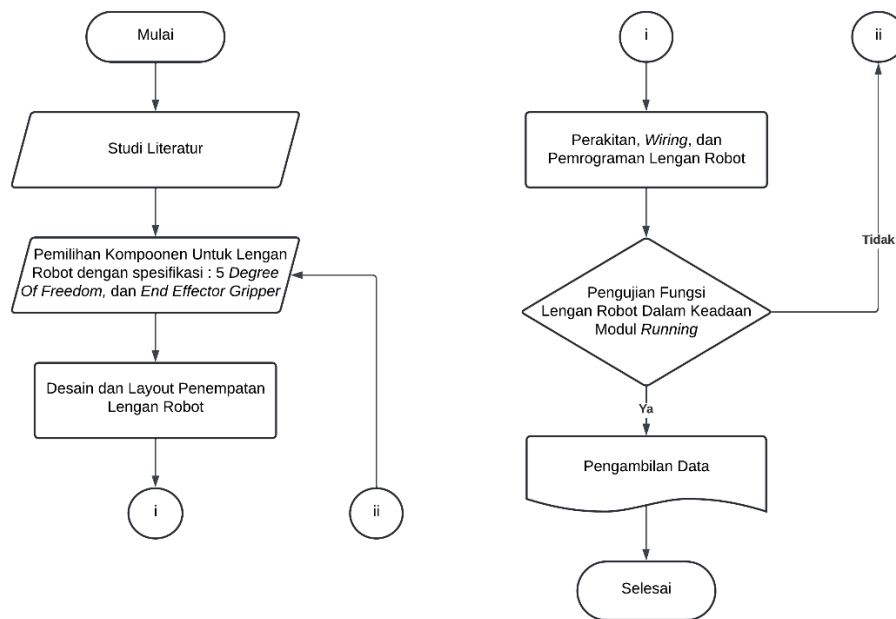
2. METODE PENELITIAN

Diagram alir pelaksanaan penelitian ditunjukkan dalam gambar 1. Jenis lengan robot yang digunakan adalah lengan robot manipulator dengan jumlah sendi sebanyak 5 buah, sendi pada lengan robot ini menggunakan aktuator berupa Motor Servo DC. *End-effector* yang digunakan untuk melakukan pekerjaan adalah *gripper* dengan sudut buka maksimal 80 mm. Beban yang akan dipindahkan adalah sebuah kemasan berbentuk silinder dengan rentang berat 45 kg – 55 kg. Sistem kontrol lengan robot menggunakan mikrokontroler Arduino Uno Atmega 328P dan PWM Servo Driver PCA 9685 yang ditenagai oleh *Power Supply* 24V DC. Lengan robot ini diprogram menggunakan *software* Ardunio IDE.

Analisis kinematika posisi lengan robot menggunakan forward kinematik dengan metode Denavit-Hartenberg [1] [9]. Parameter yang digunakan dalam metode Denavit-Hartenberg diambil dari posisi dan sudut lengan robot ketika dalam posisi *stand by*, posisi mengambil barang, dan posisi menaruh barang. Hasil analisis kinematika lengan robot akan dibandingkan dengan *software* RoboAnalyzer.

2.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dibuat dalam alur pelaksanaan penelitian yang meliputi perencanaan pembuatan lengan robot, perakitan lengan robot 5 DOF, dan pengujian lengan robot 5 DOF seperti yang ditunjukkan pada gambar 1 dibawah ini.

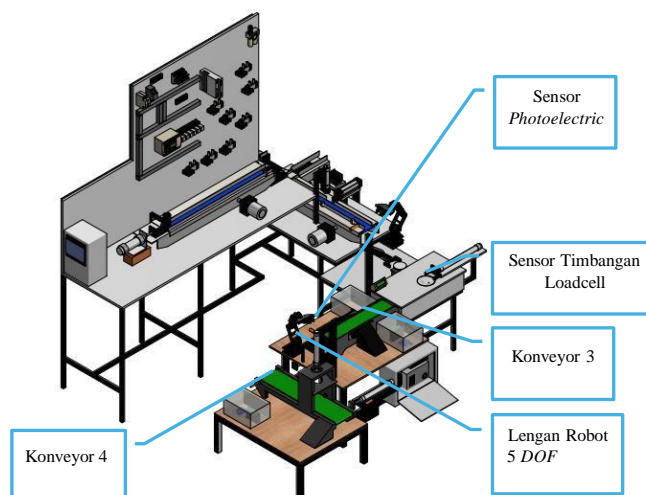


Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

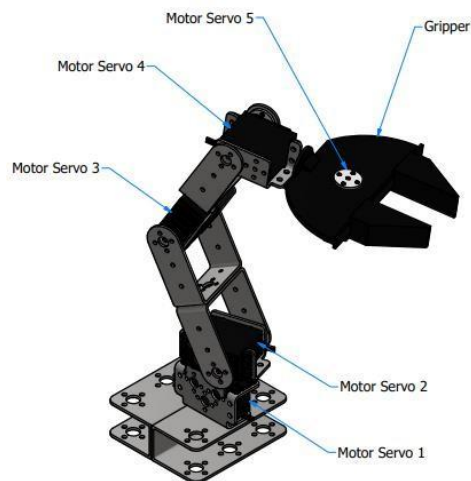
Penelitian diawali dengan pencarian referensi mengenai jenis, bentuk dan spesifikasi lengan robot yang akan dibuat berdasarkan penelitian sumber luar yang sudah dilakukan sebelumnya. Pembuatan desain dan *layout* penempatan lengan robot akan dilakukan dengan menyesuaikan penempatan posisi lengan robot agar mencukupi fungsi utama. Pemilihan spesifikasi komponen lengan robot meliputi pemilihan komponen – komponen untuk pembuatan lengan robot. Perakitan, *wiring*, dan pemrograman lengan robot meliputi perakitan rangka lengan robot dengan aktuator *joint*-nya kemudian proses instalasi rangkaian elektrik dan kontrol dari lengan robot, lalu pemrograman lengan robot menggunakan *software* Arduino IDE. Pengujian lengan robot meliputi pengujian fungsi dari lengan robot tersebut dalam memindahkan barang dengan kondisi modul *final packing* sedang *running*. Pengamatan pengujian dilakukan dengan mengamati pergerakan lengan robot dalam 3 posisi, yaitu kondisi *Stand by*, kondisi mengambil barang, dan kondisi menaruh barang. Proses pengambilan data meliputi pencatatan parameter data yang akan digunakan untuk analisis kinematika lengan robot.

2.2 Desain Lengan Robot 5 Dof

Lengan Robot yang digunakan untuk penelitian ini adalah salah satu bagian dari modul *Final Packing* kemasan *Disc Carbon* yang diperlihatkan pada gambar 2 dan gambar 3 dibawah ini.



Gambar 2. Modul Final Packing kemasan Disc Carbon.



Gambar 3. Lengan Robot 5 DOF.

Peran dari lengan robot ini digunakan untuk memindahkan barang dari konveyor 3 menuju box packing pada konveyor 4. Barang yang dipindahkan oleh lengan robot ini merupakan sebuah kemasan yang berisi *disc carbon* [10], dimana kemasan ini sudah melalui proses timbang oleh sensor loadcell dan lolos proses sortir pada konveyor 3.

2.3 Alat Dan Bahan

Komponen - komponen mekanikal maupun elektrikal yang dibutuhkan lengan robot 5 DOF dapat dilihat pada tabel 1 dan tabel 2 dibawah ini.

Tabel 1. Komponen mekanik lengan robot 5=DOF

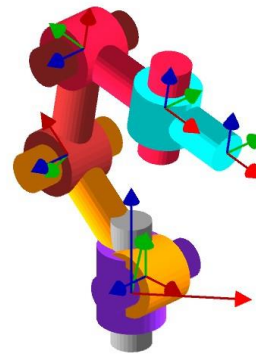
No.	Nama Komponen	Jumlah
1.	Motor Servo DC MG966R	5 pcs
2.	Gripper	1 pcs
3.	Bracket Motor Servo	5 pcs
4.	Link Bracket – Long U	3 pcs
5.	Link Bracket – L Shape	2 pcs
6.	Base Bracket	2 pcs

Tabel 2. Komponen elektrikal lengan robot 5=DOF

No.	Nama Komponen	Jumlah
1.	Power Supply 24V DC 10A	1 pcs
2.	Power Supply 24V DC 5A	1 pcs
3.	Arduino Uno	1 pcs
4.	Sensor photoelectric	1 pcs
5.	Buck Converter	2 pcs
6.	PWM Servo Driver	1 pcs
7.	Kabel Arduino	5m
8.	Kabel NYAF	10 m

2.4 Pembuatan Kinematika Maju Lengan Robot

Kinematika robot digunakan untuk mempelajari pergerakan dari bagian-bagian robot tanpa memperhatikan gaya eksternal seperti berat, percepatan dan momen dari lengan robot tersebut [4]. Perpindahan setiap bagian penyusun lengan robot akan menghasilkan perubahan posisi akhir dari *end-effector* lengan robot [6]. Penelitian ini menggunakan *forward* kinematik dengan metode Denavit-Hartenberg. Metode Denavit-Hartenberg menggunakan rumus matriks transformasi dan matriks transformasi homogen untuk menghitung kinematika robot, dimana dalam rumus tersebut membutuhkan representasi kerangka koordinat (KKi) dari setiap *joint* pada lengan robot [8] [9], lengan robot ini memiliki 6 kerangka koordinat berdasarkan 5 *joint* yang dimilikinya dan ditambah 1 kerangka koordinat dasar (KKD).



a) Lengan robot 5 DOF

b) Representasi kerangka koordinat lengan robot

Gambar 4. Representasi kerangka koordinat lengan robot 5 DOF

2.4.1 Parameter Denavit-Hartenberg

Perhitungan kinematika lengan robot 5 DOF ini memerlukan beberapa parameter data. Terdapat 4 parameter sebagai data variabel hitungan yang didapat berdasarkan hubungan antara kerangka koordinat pada lengan robot [5] [9] [11] :

- a_i (link length) : Jarak terpendek antara sumbu Z_{i-1} dengan sumbu Z_i sepanjang sumbu X_i
- α_i (link twist) : Sudut putaran dari sumbu Z_{i-1} menuju sumbu Z_i terhadap sumbu X_i
- d_i (link offset) : Adalah jarak dari titik pusat KKi-1 menuju ke titik potong antara sumbu Z_{i-1} dengan sumbu X_i sepanjang sumbu Z_{i-1}
- θ_i (joint angle) : Sudut dari sumbu X_{i-1} menuju sumbu X_i terhadap sumbu Z_{i-1}

Tabel 3. parameter Denavit-Hartenberg lengan robot kondisi stand by

Sendi (joint)	d_i (mm)	a_i (mm)	α_i (°)	θ_i (°)
1.	20	15	90	-40
2.	0	105	0	140
3.	0	95	0	-60
4.	0	85	-90	-90
5.	0	65	0	0

Tabel 4. parameter Denavit-Hartenberg lengan robot kondisi mengambil barang

Sendi (joint)	d_i (mm)	a_i (mm)	α_i (°)	θ_i (°)
1.	20	15	90	50
2.	0	105	0	100
3.	0	95	0	-65
4.	0	85	-90	-90
5.	0	65	0	0

Tabel 5. parameter Denavit-Hartenberg lengan robot kondisi menaruh barang

Sendi (joint)	di (mm)	ai (mm)	αi (°)	θi (°)
1.	20	15	90	-58
2.	0	105	0	67
3.	0	95	0	-98
4.	0	85	-90	-46
5.	0	65	0	0

HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Matriks Transformasi

Parameter Denavit-Hartenberg akan digunakan untuk mengetahui bentuk dari matrik transformasi pada setiap kerangka koordinat, berikut adalah rumus matriks transformasi yang digunakan untuk kerangka koordinat 1 terhadap kerangka koordinat 0 [9] [8]:

$${}^0A_1 = \begin{bmatrix} \cos \theta_1 & -\cos \alpha_1 \sin \theta_1 & \sin \alpha_1 \sin \theta_1 & a_1 \cos \theta_1 \\ \sin \theta_1 & \cos \alpha_1 \cos \theta_1 & -\sin \alpha_1 \cos \theta_1 & a_1 \sin \theta_1 \\ 0 & \sin \alpha_1 & \cos \alpha_1 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$${}^0A_1 = \begin{bmatrix} \cos (-40) & -\cos (90) \sin (-40) & \sin (90) \sin (-40) & 15 \cos (-40) \\ \sin (-40) & \cos (90) \cos (-40) & -\sin (90) \cos (-40) & 15 \sin (-40) \\ 0 & \sin (90) & \cos (90) & 20 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^0A_1 = \begin{bmatrix} 0,77 & 0,00 & -0,64 & 11,49 \\ -0,64 & 0,00 & -0,77 & -9,64 \\ 0,00 & 1,00 & 0,00 & 20,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 1,00 \end{bmatrix}$$

3.2 Matriks Transformasi Homogen

Setelah seluruh kerangka koordinat diketahui bentuk matriks transformasinya, maka langkah selanjutnya yaitu menghitung matriks transformasi homogen dari matriks transformasi KK5 hingga KK0 dengan rumus matriks transformasi homogen sebagai berikut [9] [8]:

$${}^0T_5 = {}^0A_1 \times {}^1A_2 \times {}^2A_3 \times {}^3A_4 \times {}^4A_5 \quad (2)$$

$${}^0T_5 = \begin{bmatrix} 0,75 & 0,64 & 0,13 & 75,67 \\ -0,63 & 0,77 & -0,11 & -63,50 \\ 0,17 & 0,00 & 0,98 & 155,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 1,00 \end{bmatrix}$$

Maka dari hasil perhitungan matriks transformasi homogen 0T_5 posisi *stand by* akan menghasilkan matriks posisi seperti dibawah ini :

- Jarak KK₅ dengan KK₀ terhadap sumbu X dari KK₀ = 75,67 mm.
- Jarak KK₅ dengan KK₀ terhadap sumbu Y dari KK₀ = - 63,50 mm.
- Jarak KK₅ dengan KK₀ terhadap sumbu Z dari KK₀ = 155,00 mm.

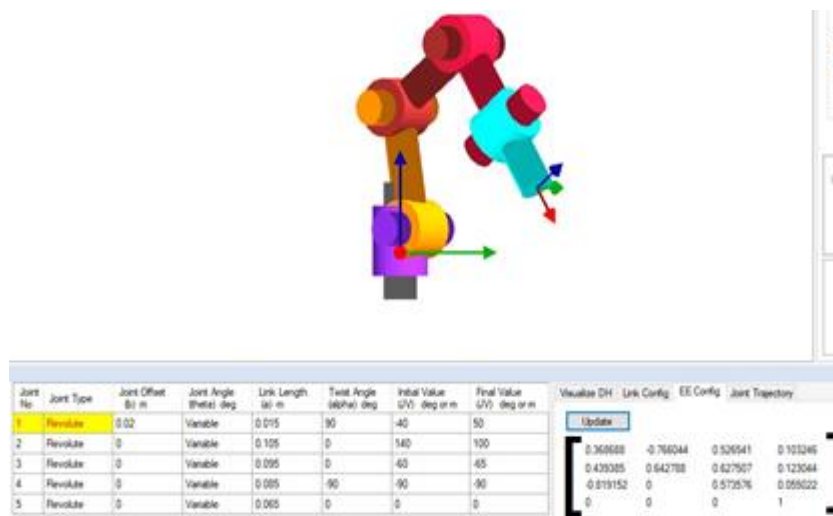
Rekapitulasi nilai hasil dari perhitungan *forward* kinematik lengan robot menggunakan metode Denavit-Hartenberg yang dilakukan pada 3 kondisi utama lengan robot yaitu kondisi *stand by*, kondisi mengambil barang, dan kondisi menaruh barang menghasilkan matriks posisi yang disajikan dalam tabel 6 berikut :

3.3 Analisis hasil perhitungan forward kinematik lengan robot 5 DOF

Hasil perhitungan forward kinematik lengan robot diatas memerlukan perbandingan data untuk memastikan keakuratan hasil perhitungan [12], maka data perbandingan yang digunakan adalah hasil simulasi forward kinematik lengan robot 5 DOF pada software RoboAnalyzer versi 9.0.1 [13]. Berikut adalah tampilan simulai lengan robot pada software RoboAnalyzer dijelaskan pada gambar 5 [14].

Tabel 6. Matriks posisi forward kinematik lengan robot 5 DOF

Sumbu Kartesian	Kondisi Stand By	Kondisi mengambil Barang	Kondisi menaruh barang
Sumbu X	75,67 mm	103,25 mm	90,72 mm
Sumbu Y	-63,50 mm	123,04 mm	-145,04 mm
Sumbu Z	155,00 mm	55,02 mm	- 78,43 mm



Gambar 5. Tampilan simulasi forward kinematik lengan robot 5 DOF

Simulasi Menggunakan RoboAnalyzer dilakukan dengan memasukan parameter – parameter Denavit-Hartenberg dari kondisi stand by, kondisi mengambil barang, dan menaruh barang lengan robot kedalam software RoboAnalyzer [15] [14]. Data hasil simulasi akan digunakan sebagai data perbandingan perhitungan forward kinematik lengan robot secara manual dengan hasil yang ditampilkan pada tabel 7, tabel 8, dan tabel 9 berikut.

Tabel 7. Selisih hasil perhitungan kinematika robot dengan simulasi RoboAnalyzer pada kondisi stand by.

No.	Sumbu Kartesian	Perhitungan Kinematika Robot	Simulasi RoboAnalyzer	Selisih	Persentase
1.	Sumbu X	75,67 mm	75,67 mm	0,00 mm	0%
2.	Sumbu Y	-63,50 mm	-63,34 mm	0,16 mm	0,2%
3.	Sumbu Z	155,00 mm	155,00 mm	0,00 mm	0%

Tabel 8. Selisih hasil perhitungan kinematika robot dengan simulasi RoboAnalyzer pada kondisi mengambil barang.

No.	Sumbu Kartesian	Perhitungan Kinematika Robot	Simulasi RoboAnalyzer	Selisih	Persentase
1.	Sumbu X	103,25 mm	103,24 mm	0,01 mm	0,009%
2.	Sumbu Y	123,04 mm	123,04 mm	0,00 mm	0,2%
3.	Sumbu Z	55,02 mm	55,02 mm	0,00 mm	0%

Tabel 9. Selisih hasil perhitungan kinematika robot dengan simulasi RoboAnalyzer pada kondisi menaruh barang.

No.	Sumbu Kartesian	Perhitungan Kinematika Robot	Simulasi RoboAnalyzer	Selisih	Persentase
1.	Sumbu X	90,72 mm	90,72 mm	0,00 mm	0,009%
2.	Sumbu Y	-145,04 mm	-145,18 mm	0,14 mm	0,2%
3.	Sumbu Z	-78,43 mm	-78,43 mm	0,00 mm	0%

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan diatas dapat diambil kesimpulan bahwa penyimpangan terbesar dari perhitungan kinematika lengan robot dibandingkan dengan simulasi RoboAnalyzer sangatlah kecil, dengan nilai rata-rata persentase selisih hanya sebesar 0,1%. Penyimpangan ini kemungkinan terjadi dikarenakan ketidakakuratan pengukuran ataupun ada baut atau mur yang longgar sehingga sedikit merubah posisi lengan robot.

5. DAFTAR NOTASI

- a_i = Panjang lengan (mm)
- α_i = Putaran sumbu Z lengan (o)
- d_i = Jarak ketidaksejajaran sumbu Z lengan (mm)
- θ_i = Besar sudut yang dihasilkan dua lengan (o)
- KKi = Kerangka koordinat sendi lengan robot.
- $i-1A_i$ = Matriks Transformasi.
- OT_i = Matriks Transformasi Homogen.
- P_x, P_y, P_z = Vektor posisi yang berarah dari titik pusat KK dasar menuju titik pusat KKi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] [1] Use the "Insert Citation" button to add citations to this document. A. B. Dharmawan and L. Lina, "Penerapan Metode Denavit-Hartenberg Pada Perhitungan Inverse Kinematics Gerakan Lengan Robot," J. Muara Sains, Teknol. Kedokt. dan Ilmu Kesehat., vol. 1, no. 1, pp. 287–292, 2017, doi: 10.24912/jmstkik.v1i1.441
- [2] H. T. Anaam K I and P. A. Y. W. Pranata R Y, Abdillah h, "Pengaruh Trend Otomasi Dalam Dunia Manufaktur dan Industri," Vocat. Educ. Natl. Semin., vol. 1, no. 1, pp. 46–50, 2022.
- [3] A. Y. N. Asida and E. P. Saputro, "Kolaborasi Manusia Dan Sumber Daya Robotik Menuju Masa Depan Manufaktur," Innov. J. Soc. Sci. Res., vol. 4, no. 1, pp. 2504–2516, 2024,[Online]. Available: <https://j-innovative.org/index.php/Innovative/article/view/7579/5523>
- [4] S. Ardhi, A. Syahiidutama, J. P. Sugiono, and H. Sutiksno, "Implementasi Kinematika Robot Lengan Pemindah Barang Dua Sendi (2 DOF) dengan Metode Kinematika Maju Untuk Menentukan Koordinat dalam Pemindahan Sebuah Object," J. Inf. Syst. Hosp. Technol., vol. 2, no. 01, pp. 35–42, 2020, doi: 10.37823/insight.v2i01.75.

-
- [5]] H. Herizon and A. Diana, "Implementasi Persamaan Kinematik Maju Pada Robot Manipulator," *Elektron J. Ilm.*, vol. 6, no. 1, pp. 66–75, 2014, doi: 10.30630/eji.6.1.66
- [6] M. Faiq, W. Satriatama, and L. Halim, "Perancangan Awal dan Simulasi Lengan Robot 3 Derajat Kebebasan Berbasis Arduino yang Dikontrol dengan Aplikasi," *J. Mech. Eng. Mechatronics*, vol. 7, no. 2, pp. 118–130, 2022.
- [7] N. HAQ, "Pendekatan Pemodelan Kinematika Balik Robot Manipulator Menggunakan Metode Sparse Identification Of Nonlinear Dynamics (SINDy)," pp. 1–62, 2023.
- [8] B. H. Purwoto, "Pemodelan Robot Kinematik Manipulator menggunakan MATLAB," *Emit.J. Tek. Elektro*, vol. 20, no. 2, pp. 141–146, 2020, doi: 10.23917/emit.v20i02.11345.
- [9] M. W. Spooong, S. Hutchinson, and M. Vidyasagar, "Robot dynamics and controls," *Syst.Control. Embed. Syst. Energy, Mach.*, pp. 14-13-14–37, 2008, doi:10.1201/9781420037043.
- [10] M. I. Subekti, T. R. Manufaktur, and P. E. Indorama, "PERANCANGAN MESIN TRANSPORT PRODUK DISC KARBON DENGAN PENGENDALI MENGGUNAKAN PLC MITSUBISHI FX1N-60MR-D," vol. 2, no. 2, pp. 16–23, 2022.
- [11] O. Haris and T. Rahman, "Perancangan dan Analisis Konstruksi Mekanik pada Robot Pemadam Api Hexapod Menggunakan Metode Finite Element Analysis dan Inverse Kinematics," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 18, no. 2, p. 163, 2023, doi:10.32497/jrm.v18i2.4017.
- [12] Sujarwanti Sujarwanti, Sutini Sutini, Wiratna Wiratna, Diana Zuhroh, and Heri Toni, "Analisa Selisih Varians Dalam Upaya Pengendalian Biaya Produksi Sedotan Steril Pada PT. ABC Di Mojokerto," *J. Mhs. Manaj. dan Akunt.*, vol. 2, no. 2, pp. 185–196, 2023, doi:10.30640/jumma45.v2i2.1555.
- [13] A. L. Talli, V. K. V. Meti, and A. C. Giriapur, "An Effective Way of Teaching Fundamentals of Robotics to Undergraduate Students using RoboAnalyzer," *J. Eng. Educ. Transform.*, vol. 35, no. 3, pp. 113–122, 2022, doi: 10.16920/jeet/2022/v35i3/22094.
- [14] J. Bahuguna, R. G. Chittawadigi, and S. K. Saha, "Teaching and learning of robot kinematics using RoboAnalyzer software," *ACM Int. Conf. Proceeding Ser.*, 2013, doi:10.1145/2506095.2506142.
- [15] A. Krisbudiman, T. Hendro Nugroho, and A. Musthofa, "Analysis Industrial Robot Arm with Matlab and RoboAnalyzer," *Int. J. Adv. Eng. Manag. Sci.*, vol. 7, no. 3, pp. 75–80, 2021, doi: 10.22161/ijaems.73.10.