

Desain Prototipe Robot Satu Lengan Dengan Tiga Tingkat Kebebasan Bergerak Berbasis Arduino Dengan Sensor Jarak Pada Bluetooth Smartphone

Timbang Panggaribuan¹⁾, Sindak Hutauruk²⁾, Juliana Sihombing³⁾
Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas HKBP Nommensen
email: timbang.pangaribuan@uhan.ac.id

Abstrak

Robot yang canggih menggantikan peralatan-peralatan manual yang membutuhkan banyak tenaga manusia, salah satunya yaitu penggunaan robot lengan. Robot lengan yang dibuat ini merupakan bagian dari robot dengan skala prototype. Dalam penelitian ini dirancang sebuah robot lengan dengan 3 DOF yang memiliki sistem yang dikendalikan berupa sistem robot lengan yang secara keseluruhan dikendalikan melalui aplikasi interface yang dibangun dengan bahasa pemrograman. Mikrokontroler Arduino Uno sebagai pengendali utama yang terkoneksi via bluetooth dengan Smartphone.

Kata Kunci: Robot Lengan 3 DOF, Mikrokontroler Arduino Uno, Bluetooth Smartphone.

Abstract

Sophisticated robots replace manual equipments that requires a lot of human power, one of which is the use of robotic arms. This robotic arm is part of a robot with a prototype scale. In this article task is designed a robot arm with 3 DOF that has a system controlled in the form of a robotic arm system that is overall controlled through an application interface built with programming language. Arduino Uno microcontroller as the main controller connected via Bluetooth with smartphone.

Keywords: Robot Arm 3 DOF, Arduino Uno Microcontroller, Bluetooth Smartphone.

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi sudah sangat pesat dalam dunia industri. Perkembangannya telah mencakup di segala bidang, terutama pada bidang teknologi komputer dan elektronika. Salah satu contoh perkembangan ada pada bidang komputer dan bidang elektronika yaitu lengan robot dengan satu DOF hingga multi DOF.

Robot lengan ini difokuskan ke sistem kontrolnya agar lengan robot yang dirancang ini dapat melakukan proses eksekusi secara otomatis. Namun, seperti diketahui juga lengan robot ini basis gerakannya menggunakan motor servo akan tetapi kali ini menggunakan stepper motor sebagai penggerak joint daripada setiap lengan pada robot tersebut.

DASAR TEORI

Lengan Robot

Lengan robot terdiri dari tiga bagian yaitu struktur mekanik (manipulator), penggerak dan sistem kendali. Pangkal lengan dapat

dipasang pada kerangka dasar. Lengan robot dapat dikendalikan dengan menggunakan sensor dan aktuator. Terdapat susunan *rigid bodies* dan *link* yang satu sama lain terhubung oleh *joint* seperti pada Gambar 1.

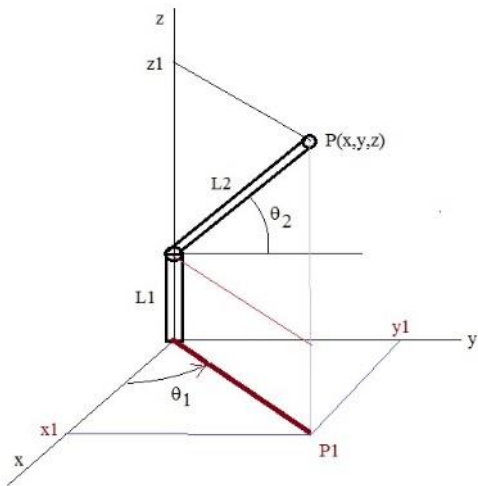


Gambar 1. Kerangka Lengan Robot

Kinematika Lengan Robot dengan Persamaan Trigonometri

1) Sistem Gerakan Lengan Robot 2 DOF

Jika terdapat manipulator dengan dua lengan dan dihubungkan sendi putar seperti pada Gambar 2.



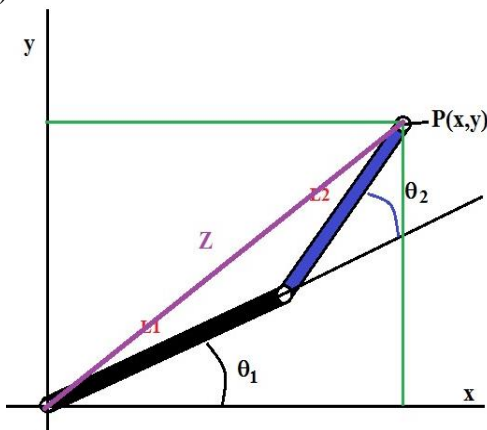
Gambar 2. Lengan Robot dengan 2 DOF

Letak *end-effector* yaitu posisi koordinat x dan y yaitu P (x, y) dapat dihitung dengan mengetahui nilai θ_1 dan θ_2 serta panjang lengan L_1 dan lengan L_2 melalui persamaan (1) dan (2):

$$X = L_1 \cos \theta_1 + L_2 \cos (\theta_1 + \theta_2) \quad (1)$$

$$Y = L_1 \sin \theta_1 + L_2 \sin (\theta_1 + \theta_2) \quad (2)$$

Pada Gambar 3. posisi x dan y untuk setiap titik ditentukan dibidang x-y dan hanya dapat dicapai jika diberikan sudut tertentu θ_1 dan θ_2 . Sudut θ_2 posisinya adalah sejajar dengan bidang x-y. Sudut θ_1 dan θ_2 yang dibangkitkan oleh *stepper motor* hanya dapat ditentukan dengan mencari invers kinematikanya melalui persamaan (3), (4), dan (5).



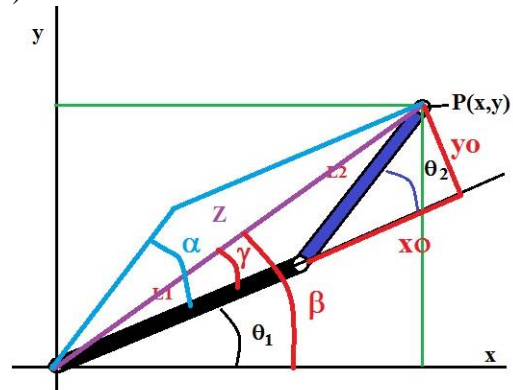
Gambar 3. Invers Kinematika dari θ_2 Lengan Robot dengan 2 DOF

$$x^2 + y^2 = L_1^2 + L_2^2 + 2L_1L_2 \cos \alpha \quad (3)$$

$$\cos \alpha = \frac{x^2 + y^2 - L_1^2 + L_2^2}{2 L_1 L_2} \quad (4)$$

$$\cos \theta_2 = \frac{x^2 + y^2 - L_1^2 + L_2^2}{2 L_1 L_2} \quad (5)$$

Sehingga, invers kinematika pada Gambar 4. untuk mencari θ_1 dapat diketahui melalui persamaan (6), (7), (8), (9), (10), (11), dan (12).



Gambar 4. Invers Kinematika dari θ_1 Lengan Robot dengan 2 DOF

$$X_o = L_2 \cos \theta_2 \quad (6)$$

$$Y_o = L_2 \sin \theta_2 \quad (7)$$

$$\tan \beta = \frac{y}{x} \quad (8)$$

$$\tan \gamma = \frac{y_o}{L_1 + x_o} = \frac{L_2 \sin \theta_2}{L_1 + L_2 \cos \theta_2} \quad (9)$$

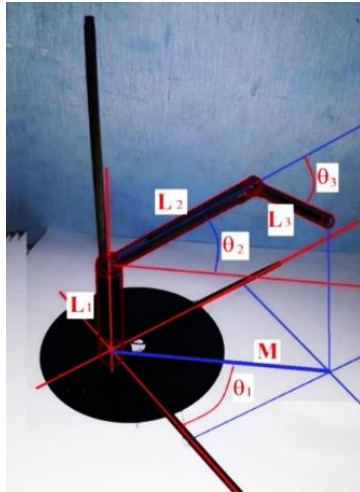
$$\theta_1 = \beta - \gamma \quad (10)$$

$$\tan \theta_1 = \tan (\beta - \gamma) = \frac{\frac{y}{x} - \frac{L_2 \sin \theta_2}{L_1 + L_2 \cos \theta_2}}{1 + \frac{y}{x} \frac{L_2 \sin \theta_2}{L_1 + L_2 \cos \theta_2}} \quad (11)$$

$$\tan \theta_1 = \frac{(L_1 + L_2 \cos \theta_2)y - (L_2 \sin \theta_2)x}{(L_1 + L_2 \cos \theta_2)x + (L_2 \sin \theta_2)y} \quad (12)$$

2) Sistem Gerakan Lengan Robot 3 DOF

Kinematika 3 DOF ini juga dapat melakukan gerakan seperti Gambar 4., tetapi bedanya bahwa lengan robot dimaksud dibuat dengan 3 DOF, sehingga lebih leluasa mencapai target di titik-titik permukaan bola setengah lingkaran seperti Gambar 5.



Gambar 5. Lengan Robot dengan 3 DOF

Posisi sumbu M didapat persamaan (14) pada P (x, y, z) setelah dibatasi θ_2 :

$$M = (L_2 \cos \theta_2) + L_3 \cos \theta_3 \quad (14)$$

Posisi x, y, dan z pada bidang xyz setelah dirotasi sejauh θ_1 didapat persamaan (15), (2.16), dan (2.17) dengan:

$$X = M * \cos \theta_1$$

$$= (L_2 \cos \theta_2 + L_3 \cos \theta_3) \cos \theta_1 \quad (15)$$

$$Y = M * \sin \theta_1$$

$$= (L_2 \cos \theta_2 + L_3 \cos \theta_3) \sin \theta_1 \quad (16)$$

$$Z = L_1 + L_2 \sin \theta_2 + L_3 \sin (\theta_2 + \theta_3) \quad (17)$$

Sehingga untuk mencari invers kinematik dari θ_3 didapat dengan persamaan (18), (19), (20), (21), (22), dan (23):

$$\frac{y}{x} = \tan \theta_1 \text{ sehingga } \theta_1 = \tan^{-1} \frac{y}{x} \quad (18)$$

$$(Z - L_1)^2 + M^2$$

$$= L_2^2 + L_3^2 + 2L_2L_3 \cos \theta_3 \quad (19)$$

$$\theta_3 = \cos^{-1} \frac{(Z - L_1)^2 + M^2 - L_2^2 - L_3^2}{2L_2L_3} \quad (20)$$

$$\frac{L_3 \sin \theta_3}{L_2 + L_3 \cos \theta_3} = \tan \beta \quad (21)$$

$$\tan \alpha = \frac{Z - L_1}{M} \quad (22)$$

$$\tan \theta_2 = \tan (\alpha - \beta) = \frac{\tan \alpha - \tan \beta}{1 + \tan \alpha \cdot \tan \beta} \quad (23)$$

$$\theta_2 = \tan^{-1} \left[\frac{\tan \alpha - \tan \beta}{1 + \tan \alpha \cdot \tan \beta} \right] \quad (24)$$

Stepper Motor

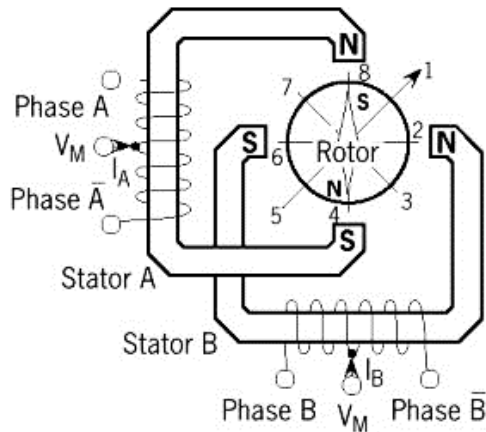
Stepper motor adalah perangkat elektromekanis yang bekerja dengan mengubah pulsa elektronik menjadi gerakan mekanis diskrit. *Stepper motor* bergerak berdasarkan urutan pulsa yang diberikan kepada motor. Karena itu, menggerakkan *Stepper motor* diperlukan pengendali yang

membangkitkan pulsa-pulsa periodik. Gambar 6 memperlihatkan contoh *stepper motor*.



Gambar 6. *Stepper Motor*

Rangkaian pengendali motor stepper unipolar lebih mudah dirancang karena hanya memerlukan satu switch / transistor setiap lilitannya. Untuk menjalankan dan menghentikan motor ini cukup dengan menerapkan pulsa digital yang hanya terdiri atas tegangan positif dan nol (ground) pada salah satu terminal lilitan (wound) motor sementara terminal lainnya dicatu dengan tegangan positif konstan (VM) pada bagian tengah (center tap) dari lilitan. Lebih jelasnya perhatikan gambar 7 dibawah ini.



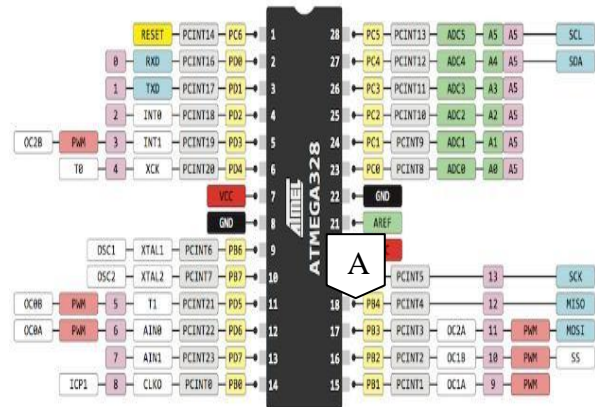
Gambar 7. Prinsip Kerja Stepper Motor

Arduino Uno R3

Arduino Uno adalah sebuah board rangkaian elektronik yang bersifat open source yang di dalamnya terdapat chip mikrokontroler keluaran Atmel. Arduino Uno R3 merupakan board berbasis mikrokontroler ATmega328. Arduino Uno R3 memiliki 14 digital input/output (6 diantaranya dapat digunakan sebagai output PWM), 6 pin input analog menggunakan crystal 16 MHz antara lain pin A0 sampai A5, koneksi USB (Universal Serial Bus), jack listrik, header ICSP dan tombol reset. Pin analog pada Arduino Uno R3 memiliki tegangan referensi (Aref) sebesar 5 volt. Pin analog memiliki fitur untuk mengubah sinyal analog yang masuk menjadi nilai digital yang mudah diukur. Pin digital hanya dapat mengenali sinyal 0 volt sebagai nilai LOW dan 5 volt sebagai nilai HIGH. Bentuk board Arduino Uno R3 dapat dilihat pada gambar 8.

Gambar 8. Arduino Uno

Arsitektur dan konfigurasi pin ATmega328 dapat dilihat pada gambar 9



Gambar 9. Pin Chip atmega328

ATmega328 memiliki 3 buah PORT utama yaitu PORTB, PORTC, dan PORTD dengan total pin input/output sebanyak 23 pin. PORT tersebut dapat difungsikan sebagai input/output digital atau difungsikan sebagai peripheral lainnya. Mikrokontroler ATmega328 memiliki beberapa fitur antara lain:

- 1) Memiliki EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read Only Memory) sebesar 1KB sebagai tempat penyimpanan data semi-permanen karena EEPROM tetap dapat menyimpan data meskipun catu daya dimatikan.
- 2) Memiliki SRAM (Static Random Access Memory) sebesar 2KB.
- 3) Memiliki pin I/O digital sebanyak 14 pin 6 diantaranya PWM (Pulse Width Modulation) output.
- 4) 32x 8-bit registers serbaguna.
- 5) Dengan clock 16 MHz kecepatan mencapai 16 MIPS.
- 6) 32 KB Flash memory dan pada arduino memiliki bootloader yang menggunakan 2KB dari flash memori sebagai bootloader.
- 7) 130 macam instruksi yang hampir semuanya dieksekusi dalam satu siklus clock.

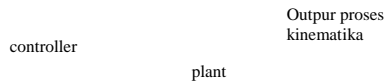
METODE PENELITIAN

Metode yang dilakukan dalam penelitian ini adalah rancang bangun, setelah mengetahui tujuan yang akan dicapai maka dirancang rangkaian yang sesuai untuk keperluan yang dimaksud. Setelah rancangan rangkaian selesai dibuat kemudian dilanjutkan dengan membangun rancangan dalam bentuk rangkaian yang sebenarnya (hardware) sehingga dapat diujikan dan dianalisa.

B

3.1. Diagram Blok Sistem

Perancangandiagrambloksistembukapinturu mahotomatisberbasisarduinounoditunjukans epertigambar10

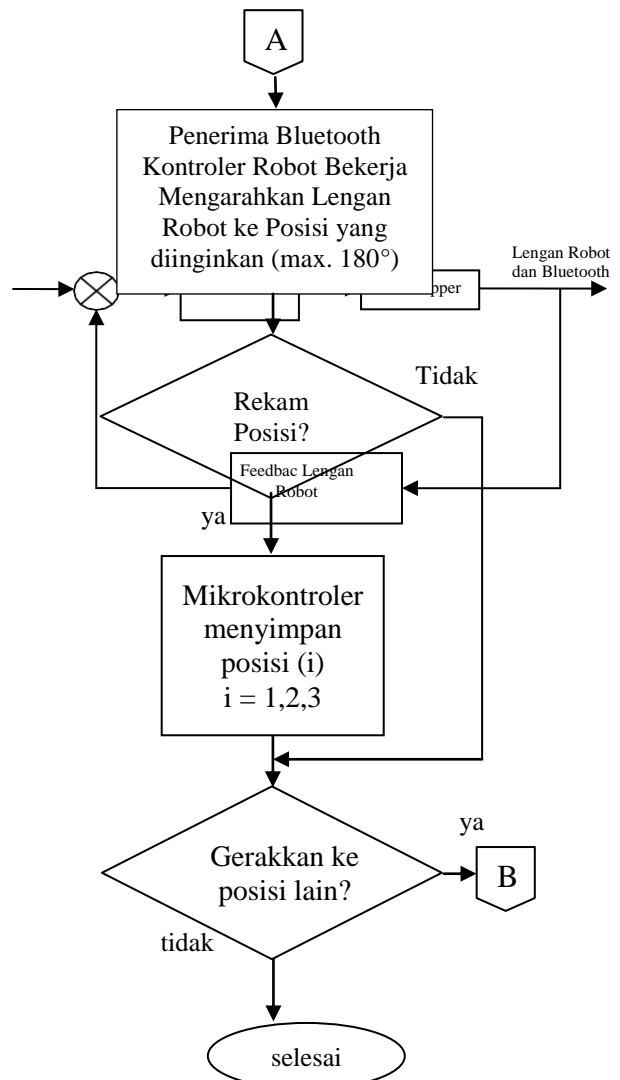


Gambar 10. Diagram Blok Sistem

Dari diagram blok perangkat keras gambar 10, bahwa proses perancangan dari lengan robot dengan 3 DOF dibuat menggunakan mikrokontroler Arduino Uno yang berfungsi sebagai kendali sistem yang menggerakkan lengan robot. Sedangkan bahasa pemrograman bertujuan untuk menggerakkan motor ke posisi tertentu yang diinginkan yaitu 180° derajat, dimana *output* sebagai proses kinematika. Input dari *smartphone* berupa koordinat x, y, z kemudian di terima oleh Arduino, selanjutnya input tersebut memproses invers kinematika untuk mendapatkan jumlah step atau gerakan *stepper motor*.

Flowchart

Setelah dilakukan pemrograman, maka proses pergerakan lengan robot ditunjukkan seperti gambar 11.



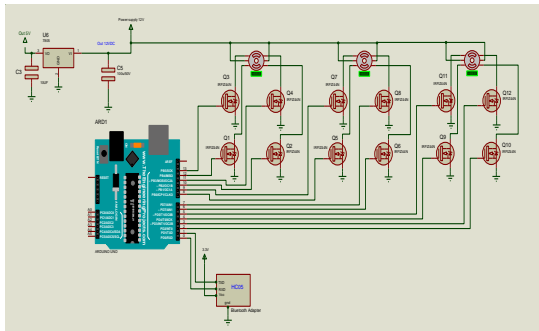
Gambar 11. Flowchart *Training Robot* dengan sumbu 180°

Sedangkan program yang diisikan pada Arduino, ditunjukkan seperti pada lampiran *Listing Program*.

Prinsip Kerja

Robot lengan dibangun berbasis mikrokontroler Arduino uno, yang dimana kontrol pergerakan motor dilakukan oleh mikrokontroler tersebut. Awalnya Pengontrolan dilakukan secara manual dengan sebuah *smartphone* yang terhubung melalui *bluetooth*, setelah dikontrol secara manual tiap axis dapat direkam pada memori internal arduino. Setelah semua axis terekam pada memori, robot dapat bergerak secara otomatis menuju axis-axis tersebut. Motor penggerak yang digunakan adalah motor stepper tipe uni polar. Dibutuhkan 4 buah mosfet untuk

menjalankan sebuah *stepper motor*. Mikrokontroler Arduino mengatur pulsa keluaran pada motor melalui *port* keluaran yaitu pin 2 hingga pin 13. Sedangkan pin untuk *adapter bluetooth* adalah pin 0 dan pin 1 yang merupakan *port* serial. Perintah yang diberikan oleh user melalui *smartphone* berupa kode ascii yaitu “R”, “L”, “U”, “D”, “A” dan “B”. Sesuai simbol nya R untuk bergerak kekanan, L kekiri, U untuk naik dan D untuk turun. A untuk naik lengan atas dan B untuk turun. Kode tersebut diidentifikasi oleh Gambar 12.

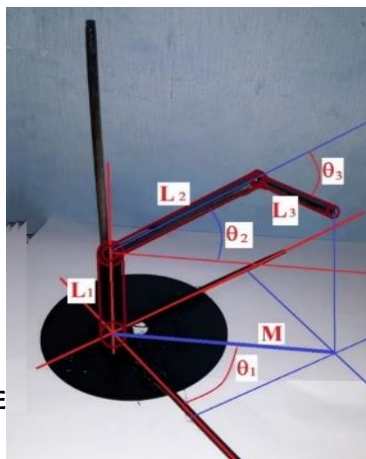


Gambar 12. Diagram Prinsip Kerja

HASIL DAN ANALISIS

Hasil Keseluruhan Perancangan Alat

Sebuah desain mekanik yang telah dirancang dan didesain sedemikian rupa perlu dilakukan sebuah pengujian terutama berdasarkan bentuk dan ukuran dari yang telah didesain terhadap hasil desain secara real. Hal ini diperlukan karena untuk melihat keakuratan ukuran dari hasil desain real terhadap yang didesain. Apabila terjadi perbedaan hasil ukuran dari desain terhadap hasil real berarti ada kesalahan pengimplementasian rumus kinematic yakni akan menimbulkan error dalam menentukan posisi saat digunakan rumus kinematik. Berikut hasil perbandingan desain mekanik yang dirancang terhadap hasil mekanik real pada Gambar 13.



ELPOTE

a) Desain Prototipe

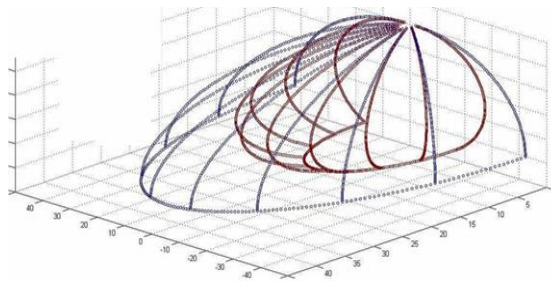


b) Desain Real

Gambar 13. Hasil Desain Prototipe dengan Hasil Desain Real

Sketsa Workspace Lengan Robot dengan 3 DOF

Sketsa *workspace* sangat dibutuhkan untuk mengetahui lingkup area kerja robot didalam batas maksimal penentuan posisi robot serta penentuan batas area kerja robot dalam penentuan batas minimal. Sketsa *workspace* robot ini dilakukan di dalam sebuah perangkat lunak yaitu MATLAB. Dapat memproyeksikan koordinat titik kerja robot kedalam bentuk sebuah bidang 3D / 3 Dimensi. Yang terdiri dari sumbu X, sumbu Y dan sumbu Z. Ketiga sumbu ini saling berhubungan dan diproyeksikannya secara 2D / 2 Dimensi setiap pasang sumbunya seperti X terhadap Y dan X terhadap Z. Maka didapatkan sebuah 4D / 4 Dimensi dan kemudian diseleksi 1 sumbu yang sama yaitu sumbu X terhadap salah satunya. Maka akan menjadi hasil 3D, kemudian hasil penyeleksian dimensi yang telah menjadi 3D baru kita dapat menentukan koordinat untuk mengatur posisi pada robot. Mengatur batas maksimal koordinat kerja yang dicapai robot dan batas koordinat minimal pada robot. Berikut sketsa *workspace* yang telah dibuat di dalam Gambar 14 software MATLAB.



Gambar 14. *Workspace* Lengan Robot dengan 3 DoF

Data Posisi Workspace Area Skalar terhadap Sumbu X

Data posisi *Workspace* Area diproyeksikan terhadap sumbu X. Data ini diperlukan untuk mengetahui wilayah area kerja robot pada sumbu X. Wilayah area kerja/*workspace* robot diperlukan untuk mengetahui batas-batas nilai koordinat kerja robot terutama mengetahui batas nilai koordinat terkecil yang dapat dicapai oleh robot. Berikut data *workspace* robot terhadap sumbu X.

Tabel 1 Data *Workspace Area* Skalar terhadap Sumbu X

Posisi Target pada Sumbu X			Perhitungan Invers Kinematik		
X	y	Z	θ_1	θ_2	θ_3
45	0	0	0	-24	0
40	2.5	2.5	4	-24	0
35	5	5	8	-23	0
30	7.5	7.5	14	-22	0
25	10	10	22	-20	0
20	12.5	12.5	32	-24	17
15	15	15	45	-37	60
10	17.5	17.5	60	-35	73
5	20	20	76	-27	71
Rata-rata error (%)			0.0344827586	-0.0381355932	0.0407239819

Dari Tabel 1. input posisi koordinat x di atas untuk mengetahui *workspace* skalar diperoleh nilai persentase *error* untuk θ_1 sebesar 0.0344827586% sedangkan untuk θ_2 sebesar -0.0381355932% kemudian untuk persentase error θ_3 sebesar 0.0407239819%.

Data Posisi Workspace Area Skalar terhadap Sumbu Y

Data posisi *Workspace* Area diproyeksikan terhadap sumbu Y. Data ini

diperlukan untuk mengetahui wilayah area kerja robot pada sumbu Y. Wilayah area kerja/*workspace* robot diperlukan untuk mengetahui batas-batas nilai koordinat kerja robot terutama mengetahui batas nilai koordinat terkecil yang dapat dicapai oleh robot. Berikut data *workspace* robot terhadap sumbu Y.

Dari Tabel 2. input posisi koordinat y di atas untuk mengetahui *workspace* skalar diperoleh nilai persentase *error* untuk θ_1 sebesar 0.025% sedangkan untuk θ_2 sebesar -0.1578947368% kemudian untuk persentase error θ_3 sebesar 0.0164835165%.

Tabel 2 Data *Workspace Area* Skalar terhadap Sumbu Y

Posisi Target pada Sumbu Y			Perhitungan Invers Kinematik		
X	Y	z	θ_1	θ_2	θ_3
0	45	0	90	-	76
2.5	40	2.5	86	-24	0
5	35	5	83	-24	0
7.5	30	7.5	76	-22	0
10	25	10	68	-20	0
12.5	20	12.5	59	-24	17
15	15	15	45	-37	60
17.5	10	17.5	30	-35	73
20	5	20	14	-27	71
Rata-rata error (%)			0.016339383	-0.0422535211	0.030303030

Data Posisi Workspace Area Skalar terhadap Sumbu Z

Data posisi *Workspace* Area diproyeksikan terhadap sumbu Z. Data ini diperlukan untuk mengetahui wilayah area kerja robot pada sumbu Z. Wilayah area kerja/*workspace* robot diperlukan untuk mengetahui batas-batas nilai koordinat kerja robot terutama mengetahui batas nilai koordinat terkecil yang dapat dicapai oleh robot. Berikut data *workspace* robot terhadap sumbu Z.

Tabel 3 Data *Workspace Area* Skalar terhadap Sumbu Z

Posisi Target pada Sumbu Z			Perhitungan Invers Kinematik		
X	Y	Z	θ_1	θ_2	θ_3
0	0	45	-	-	-
2.5	2.5	40	45	52	73
5	5	35	45	28	100
7.5	7.5	30	45	4	112
10	10	25	45	-19	109
12.5	12.5	20	45	-34	92
15	15	15	45	-37	60
17.5	17.5	10	45	-22	0
20	20	5	45	-27	0
Rata-rata error (%)			0.025	-0.1578947368	0.0164835165

Dari Tabel 3. input posisi koordinat z di atas untuk mengetahui *workspace* skalar diperoleh nilai persentase *error* untuk θ_1 sebesar 0.025% sedangkan untuk θ_2 sebesar -0.1578947368% kemudian untuk persentase *error* θ_3 sebesar 0.0164835165%.

KESIMPULAN

Beberapakesimpulan dapat dituliskan:

- 1) Pengujian (Training) melalui *Smartphone* telah berhasil dilakukan, baik untuk gerakan step by step maupun gerakan otomatis dari data terekam.
- 2) Dari hasil pengujian di dapat posisi koordinat x di atas untuk mengetahui *workspace* skalar diperoleh nilai persentase *error* untuk θ_1 sebesar 0.0344827586% sedangkan untuk θ_2 sebesar -0.0381355932% kemudian untuk persentase *error* θ_3 sebesar 0.0407239819%.
- 3) Dari hasil pengujian di dapat posisi koordinat y di atas untuk mengetahui *workspace* skalar diperoleh nilai persentase *error* untuk θ_1 sebesar 0.025% sedangkan untuk θ_2 sebesar -0.1578947368% kemudian untuk persentase *error* θ_3 sebesar 0.0164835165%.
- 4) Dari hasil pengujian di dapat posisi koordinat z di atas untuk mengetahui *workspace* skalar diperoleh nilai persentase *error* untuk θ_1 sebesar 0.025% sedangkan untuk θ_2 sebesar -0.1578947368% kemudian untuk persentase *error* θ_3 sebesar 0.0164835165%.
- 5) Dari hasil pengujian untuk menunjukkan posisi robot dengan menggunakan software

DESMOS yang dibuat berdasarkan target input koordinat XY terhadap sisisudut yang ada pada robot dengan gambar sudah dibuktikan bahwa setiap sudut dari pergerakan robot dapat dibuktikan dengan menggunakan software DESMOS.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Constantin, Daniel., Lupoae, Marin., Baci, Catalin., Buliga, Dan-Ilie. Forward Kinematics Analysis of an Industrial Robot. New Development in Mechanics and Mechanical Engineering.
- [2] Corke, Peter. 2014. Denavit-Hartenberg Notation For Common Robots. CTMS MATLAB® 7.14. DC Motor Speed: Simulink Modeling.[Online] Available at: <http://ctms.eng.in.umich.edu/CTMS/index.php?example=MotorSpeed§ion=SimulinkModeling> [Accessed 17 May 2016].
- [3] Dr. Rainer Hessmer. "Kinematics for Lynxmotion Robot Arm". Internet: <http://www.hessmer.org/uploads/RobotArm/Inverse%2520Kinematics%2520for%2520Robot%2520Arm.pdf> [May. 10,2016]
- [4] Forward Kinematics: The Denavit-Hartenberg Convention. [Pdf file] Available at: <https://www.cs.duke.edu/brd/Teaching/Bio/asmb/current/Papers/chap3-forward-kinematics.pdf> [Accessed 5 May 2016].
- [5] Hayes, M. J. D., & O'Leary P. L. 2001. Kinematics Calibration Procedure for Serial Robots with Six Revolute Axes. Institute für Automation. Austria.
- [6] Joubert, Niels. 2008. Numerical Methods For Inverse Kinematics. UC Berkeley. CS184.
- [7] Pajak, I. 2014. The Matlab Toolbox For Modeling Complex Mechanisms. International Journal of Applied Mechanics and Engineering. 19:2 285-301.
- [8] Singh, Harpreet., Dhillon, Naveen., Ansari, Imran. 2015. Forward and Inverse Kinematics Solution For Six DOF with The Help Of Robotics Toolbox in Matlab. International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management (IJAEM).
- [9] Xiao, Jizhong. Introduction to Robotics: Kinematics of Robot Manipulator.