

Analisis Penggunaan Penggerak Motor Servo pada Robot Paralel Konfigurasi Delta

Fauzan Fauzan, Melisa Doremi

***Abstract.** Robots have been chosen as a solution to help humans overcome various problems, such as precision, safety, flexibility and repetitive work. Industries, in particular, have adopted the use of robots in pick & place tasks to efficiently meet consumer needs, considering these tasks require speed, precision and consistency. To achieve this goal, the development of delta robots has been carried out, especially in the packaging sector. In this research, a small delta robot prototype was created using an Arduino Mega 2560 as the base. This delta robot has 3 degrees of freedom arranged in parallel in a triangular configuration. Robot actuators use servo motors controlled by a microcontroller, with input from a joystick and GUI via serial communication. Input from the joystick and GUI is processed by the microcontroller to perform inverse kinematics calculations, which then produces an angle for each servo to reach the desired end-effector position. Apart from being controlled manually, the robot can also operate automatically with position recording mode.*

***Keywords:** Delta robot, gripper, Arduino Mega, servo motor.*

Abstrak. Robot telah dipilih sebagai solusi untuk membantu manusia mengatasi berbagai masalah, seperti presisi, keamanan, fleksibilitas, dan pekerjaan berulang. Industri, khususnya, telah mengadopsi penggunaan robot dalam tugas pick & place untuk memenuhi kebutuhan konsumen dengan efisien, mengingat tugas ini memerlukan kecepatan, presisi, dan konsistensi. Untuk mencapai tujuan tersebut, pengembangan robot delta telah dilakukan, terutama di sektor pengemasan. Dalam penelitian ini, sebuah prototype robot delta berukuran kecil telah dibuat dengan menggunakan Arduino Mega 2560 sebagai basisnya. Robot delta ini memiliki 3 tingkat kebebasan yang diatur secara paralel dalam konfigurasi segitiga. Aktuator robot menggunakan motor servo yang dikontrol oleh mikrokontroler, dengan input dari joystick dan GUI melalui komunikasi serial. Input dari joystick dan GUI diproses oleh mikrokontroler untuk melakukan perhitungan inverse kinematics, yang kemudian menghasilkan sudut untuk masing-masing servo agar mencapai posisi end-effector yang diinginkan. Selain dikendalikan secara manual, robot juga dapat beroperasi secara otomatis dengan mode perekaman posisi.

Kata Kunci: Robot delta, gripper, Arduino Mega, Motor servo.

LATAR BELAKANG

Seiring perkembangan zaman, teknologi telah banyak berkembang pesat terutama dalam dunia robotika, baik dalam bidang industri, medis, militer dan lain sebagainya. Berbagai penelitian telah banyak dilakukan untuk mengembangkan dan menyempurnakan baik dari segi jenis, bentuk, kecepatan dan kekuatan.

Salah satu robot yang kini banyak digunakan dalam industri maupun dalam bidang umum adalah robot manipulator. Manipulator merupakan bagian mekanik yang dapat difungsikan untuk memindahkan, menulis, mengangkat dan memanipulasi benda kerja. Secara konstruksi robot delta memiliki 3 DoF (Degree of Freedom) yang disusun secara paralel dengan konfigurasi segitiga. Berkat konfigurasi tersebut robot dapat memiliki pergerakan yang sangat cepat, karena tidak membutuhkan aktuator yang banyak sehingga membuatnya ringan dan robot delta sangat cocok untuk digunakan dalam ruang kerja yang kecil [5].

Dari paparan diatas, munculah sebuah ide untuk merancang prototype robot delta yang akan memiliki ukuran yang kecil dan menggunakan motor servo sebagai aktuatornya, sehingga

tidak memakan banyak ruang kerja. Robot delta ini akan bertugas untuk mengambil benda pada area kerja pada sumbu XY ± 180 mm dan 300 mm pada sumbu Z, dengan menggunakan gripper dan meletakkannya pada posisi tertentu baik secara manual ataupun dengan menyimpan koordinat posisi.

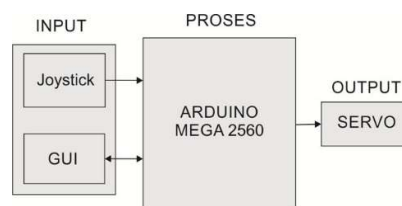
KAJIAN TEORITIS

Secara umum robot manipulator dibedakan menjadi beberapa jenis berdasarkan konfigurasi mekanikalnya yaitu Cartesian, SCARA, Articulated, Parallel. Untuk memenuhi kebutuhan konsumen dengan efisien, telah banyak industri yang menggunakan robot manipulator dalam membantu pekerjaan terutama dalam melakukan tugas pick & place, yang membutuhkan keamanan, kecepatan, presisi dan konsistensi. Dalam melakukan pick & place, robot manipulator parallel merupakan tipe robot yang tepat dalam melakukan pick & place terutama dalam pengemasan, karena memiliki kecepatan yang lebih baik dibandingkan manipulator serial dan salah satu tipe robot yang termasuk dalam manipulator paralel tersebut adalah tipe delta [5].

METODE PENELITIAN

Metode penelitian pada perancangan ini memiliki beberapa tahapan yang harus dilewati, yaitu studi kasus pada robot yang akan dirancang, perancangan sistem robot (hardware dan software), pembuatan sistem robot dan evaluasi melalui pengujian dan data yang telah diambil. Pada tahapan studi kasus, diperlukan untuk mengumpulkan bahan-bahan referensi untuk memahami cara kerja dari robot yang akan dirancang. Setelah memahami cara kerja dari robot tersebut dilakukan proses pembuatan sistem keseluruhan robot yang meliputi hardware dan software, pada tahap dibuat diagram sistem untuk mempermudah dalam proses pembuatan sistem robot. Tahap selanjutnya setelah semua sistem telah dibuat dapat dilakukan evaluasi yang dimana terdiri pengujian dan pengambilan data, untuk mengetahui performa atau hasil dari alat yang dibuat.

1.1. Inverse Kinematics



Gambar 1. Blok diagram sistem keseluruhan robot delta.

Kinematika adalah ilmu yang mempelajari tentang gerakan dengan memperhatikan sisi geometrinya. Dalam robot, kinematika berfungsi untuk menentukan persamaan dinamika dan control robot. Dalam menentukan persamaan kinematika perlu dilakukan deskripsi analisis dari penempatan posisi secara spasial dari lengan robot sebagai sebuah fungsi waktu. Secara garis besar, kinematika membahas tentang hubungan antara derajat kebebasan, posisi dan orientasi dari end-effector pada lengan robot. Dalam kinematika ada dua metode untuk menentukan posisi dan orientasi end-effector yaitu forward kinematics dan inverse kinematics [1]. Dalam penelitian ini agar robot dapat bergerak sesuai koordinat yang diberikan digunakanlah metode inverse kinematics. Pada persamaan inverse kinematics pada robot delta, ketiga lengannya memiliki persamaan yang berbeda-beda yang dapat ditulis sebagai berikut dibawah ini [1]:

- Lengan 1
 $E1 = 2(y + a)$ (1)
 $F1 = 2zL$ (2)
 $G1 = x^2 + y^2 + z^2 + a^2 + L^2 + 2ya - l^2$ (3)
- Lengan 2
 $E2 = -(\sqrt{3}(x + b) + y + c)$ (4)
 $F2 = 2zL$ (5)
 $G2 = x^2 + y^2 + z^2 + b^2 + c^2 + L^2 + 2xb + 2yc - l^2$ (6)
- Lengan 3
 $E3 = (\sqrt{3}(x - b) + y - c)$ (6)
 $F3 = 2zL$ (8)
 $G3 = x^2 + y^2 + z^2 + b^2 + c^2 + L^2 - 2xb + 2yc - l^2$ (9)

Agar dapat bisa mendapatkan nilai θ_i pada setiap lengan, pertama harus mencari nilai abc pada agar dimasukan pada persamaan setiap lengannya dengan persamaan dibawah ini :

$$a = wB - up \quad (10)$$

$$b = -\frac{wB}{\sqrt{3}} - \frac{up}{2} \quad (11)$$

$$c = \frac{wp}{2} - wB \quad (12)$$

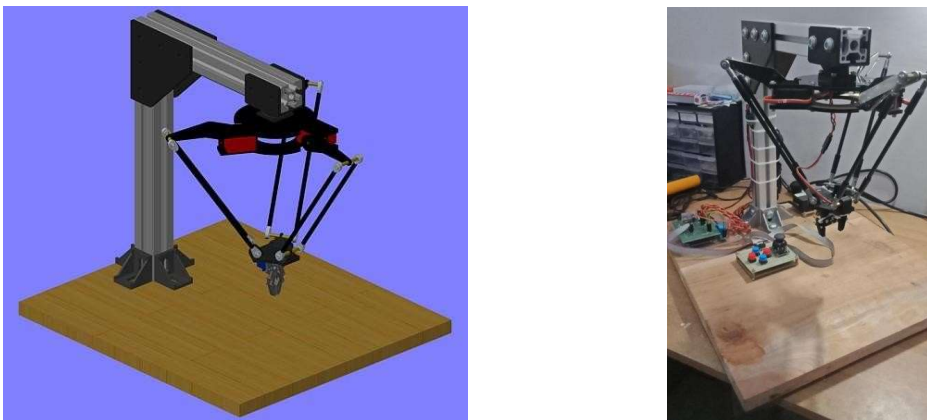
Setelah didapatkan nilai abc nya, dapat dicari nilai θ_i pada setiap lengan dengan persamaan dibawah ini :

$$\theta_i = 2 \tan^{-1}(ti) \quad (13)$$

Perancangan Mekanik

Kerangka robot dibagi menjadi empat bagian yakni body (base), lengan bagian atas, lengan bagian bawah (Parallelograms), end-effector, stand dan gripper, yang ditunjukkan pada gambar

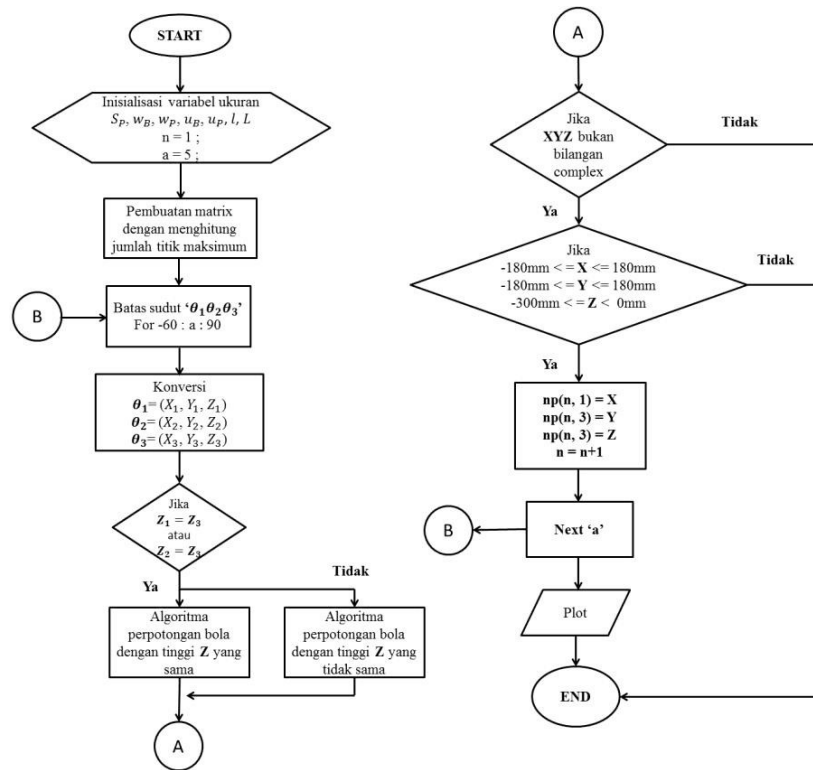
2. Pada bagian body (base) menggunakan bahan akrilik dengan tebal 5 mm dan lengan bagian atas menggunakan bahan akrilik dengan 2 jenis ketebalan yang berbeda, yaitu 3 mm dan 1,5 mm, yang dimana pada akrilik 3 mm akan dilapisi dengan akrilik 1,5 mm. Pada lengan bagian bawah menggunakan structural part 3D printer yang terbuat dari karbon memiliki panjang 217 mm dan 33 mm lebar antar lengannya. Pada end-effector PLA dengan menggunakan 3D printer. Desain stand menggunakan alumunium profil 4040 yang disambungkan dengan braket yang terbuat dari akrilik, yang berguna untuk menggantung robot. Penggunaan alumunium profil ini, karena memiliki kekuatan yang cukup kuat, sehingga tidak mudah patah. Pada penggantung robot menggunakan bahan PLA dengan menggunakan 3D printer. Desain gripper memiliki bukaan hingga 22,06 mm.



Gambar 2. Desain mekanik keseluruhan robot delta.

1.2. Pemodelan Area Kerja (Workspace)

Berdasarkan perancangan mekanik yang telah dilakukan, sangatlah penting untuk membuat pemodelan workspace nya [2]. Pemodelan ini berguna untuk mengetahui bagaimana fleksibilitas dan bentuk pergerakan yang dilakukan oleh robot pada suatu area dengan end-effector sebagai acuannya. Untuk mengetahui bagaimana model workspace robot, dilakukanlah simulasi Matlab dengan menggunakan metode forward kinematics [1], yang ditunjukkan pada flowchart gambar 3.

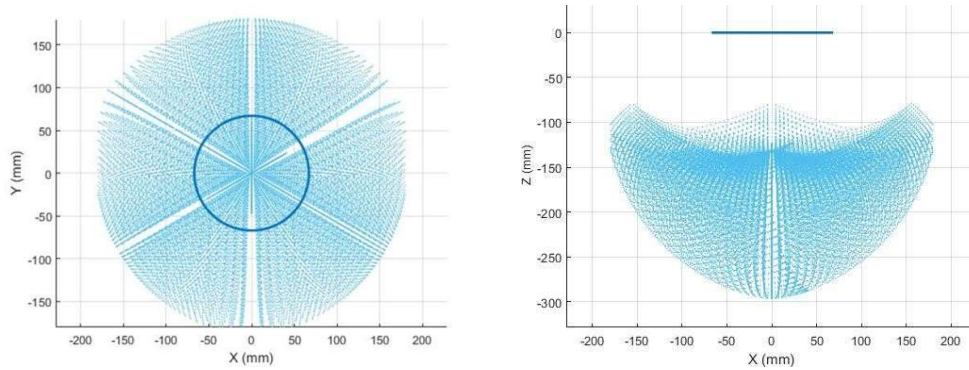


Gambar 3. Flowchart simulasi area kerja.

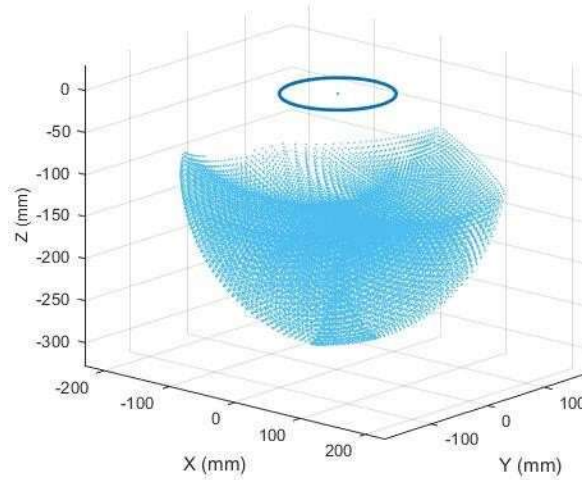
Tabel 1. Ukuran desain robot.

Variabel	Panjang (mm)	Panjang (m)
sp	51,96 mm	0,05196 m
wB	67 mm	0,067 m
wP	15 mm	0,015 m
uB	134 mm	0,134 m
uP	30 mm	0,030 m
l	83 mm	0,083 m
L	217 mm	0,217 m

Metode ini akan menghasilkan koordinat xyz sesuai dengan sudut rotasi (θ) yang dimasukkan, berdasarkan input sudut dan variabel pada ukuran desain yang ditunjukkan pada tabel 1[3]. Titik-titik koordinat yang dihasilkan oleh simulasi yang telah dilakukan, kemudian akan membentuk area kerja dari robot, yang dapat dilihat pada gambar 4 dan gambar 5.

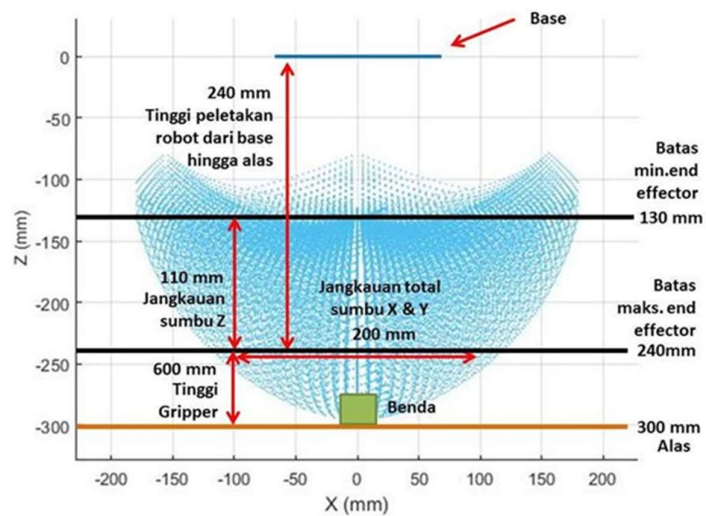


Gambar 4. Hasil plot Workspace (tampak atas dan depan)



Gambar 5. Hasil plot Workspace (tampak 3D)

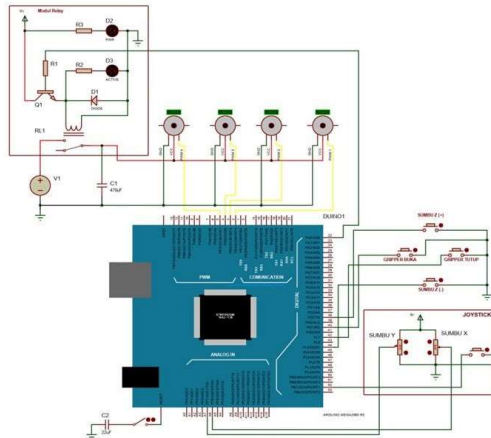
Dari hasil plot workspace yang telah dilakukan dapat dibuat posisi peletakan bendanya, seperti yang ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 6. Posisi peletakan benda berdasarkan Workspace.

Perancangan Rangkaian Pengendali Servo

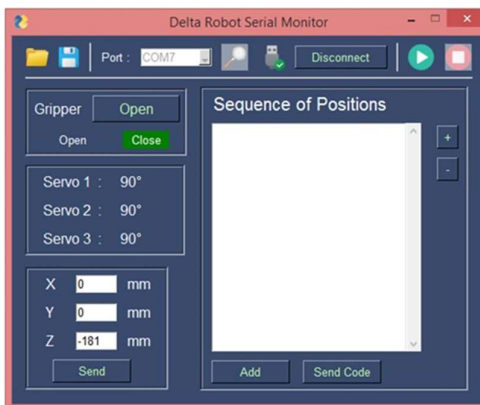
Pada gambar 7 rangkaian pengendali servo ini menggunakan Arduino Mega 2560[4] sebagai driver servo yang dikendalikan oleh modul joystick untuk mengendalikan robot pada sumbu X, Y dan tombol posisi homing, serta dua buah push button untuk mengendalikan sumbu Z dan dua buah push button untuk mengendalikan gripper. Catu daya yang digunakan untuk mensuplai servo menggunakan sumber eksternal yang disambungkan pada jack power DC yang difilter menggunakan kapasitor 470uF. Untuk menghindari arduino agar tidak ter-reset, dipasang kapasitor 22uF pada pin RESET secara paralel.



Gambar 7. Rangkaian Pengendali Servo

Perancangan Antarmuka GUI

Pada gambar 8 menunjukkan tampilan GUI yang berfungsi untuk mengendalikan robot dan menjalankan mode perekaman posisi. GUI akan mengirimkan data koordinat XYZ dan perintah-perintah tertentu melalui komunikasi serial. Perancangan tampilan GUI ini menggunakan software SPYDER yang menggunakan python sebagai bahasa pemrogramannya.



Gambar 8. Tampilan GUI kontrol robot delta.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dan analisis yang dilakukan dibagi menjadi 4 bagian pengujian, yaitu pengujian pada sumbu Z, pengujian pada sumbu XY, pengujian saat kembali keposisi awal dan pengujian mode perekaman posisi.

Pengujian Ketinggian End-Effector Pada Sumbu Z

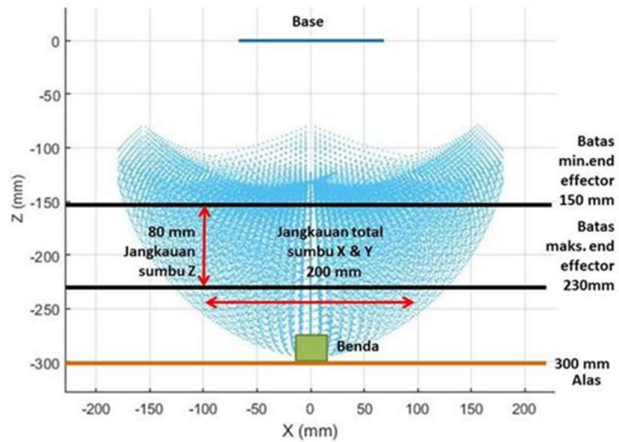
Pengujian ini dilakukan dengan mengukur ketinggian sumbu Z dan sudut ketiga servo setiap 10 mm dari ketinggian -130 mm hingga -240 mm sesuai dengan teori perancangan yang ditunjukkan pada gambar 6. Data pengujian ditunjukkan pada tabel 2 dibawah ini :

Tabel 2. Data pengujian ketinggian end-effector pada sumbu Z.

Percobaan	Input GUI Sumbu Z (mm)	Error			
		Sumbu Z (mm)	Servo 1(°)	Servo 2(°)	Servo 3(°)
1	-150	3	0	0	1
2	-160	4	0	0	1
3	-170	3	1	0	1
4	-180	4	1	1	1
5	-190	3	2	0	1
6	-200	3	1	0	1
7	-210	2	1	0	1

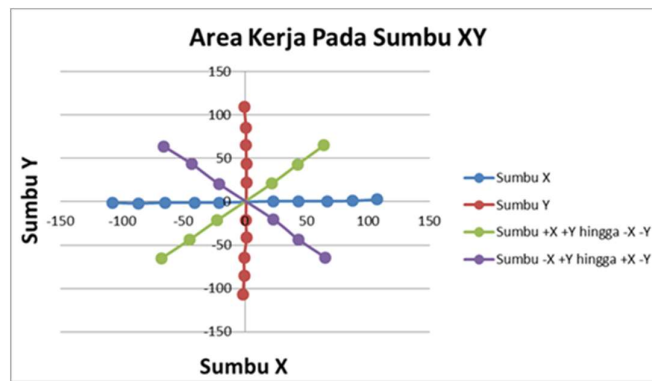
Percobaan	Input GUI Sumbu Z (mm)	Error			
		Sumbu Z (mm)	Servo 1(°)	Servo 2(°)	Servo 3(°)
8	-220	2	0	0	1
9	-230	2	1	0	1
	Rata-rata	3	1	0	1

Hasil pengujian ketinggian sumbu Z yang ditunjukkan pada tabel 3 dapat dilihat robot memiliki error akurasi rata-rata sekitar 3 mm, dengan memiliki rentang jangkauan dari -150 mm hingga -230 mm, karena ketika diberi input pada ketinggian -130 mm dan -140 mm lengan akan menyentuh bagian dan saat diberi input pada ketinggian -240 mm end-effector akan menyentuh alas kayu, yang merusak end-effector. Dari pengujian yang dilakukan dapat digambarkan area kerja setelah pengujian, yang ditunjukkan pada gambar 9.



Gambar 9. Perubahan area kerja pada sumbu Z setelah pengujian.

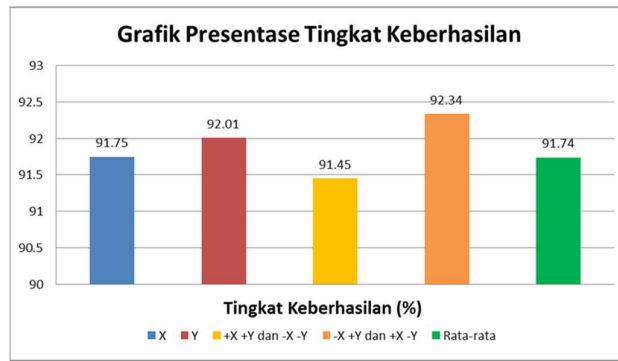
Pengujian Akurasi Pick & Place Dan Area Kerja Pada Sumbu XY



Gambar 10. Grafik area kerja pada sumbu XY.

Gambar 10 merupakan grafik area kerja pada sumbu XY dari pengujian yang telah dilakukan. Dari grafik dan tabel tersebut dapat dilihat bahwa pada jalur pergerakan pada sumbu X, sumbu Y dan secara diagonal pada sumbu XY setiap posisi tidak tegak lurus pada sumbu dan memiliki selisih yang berbeda-beda.

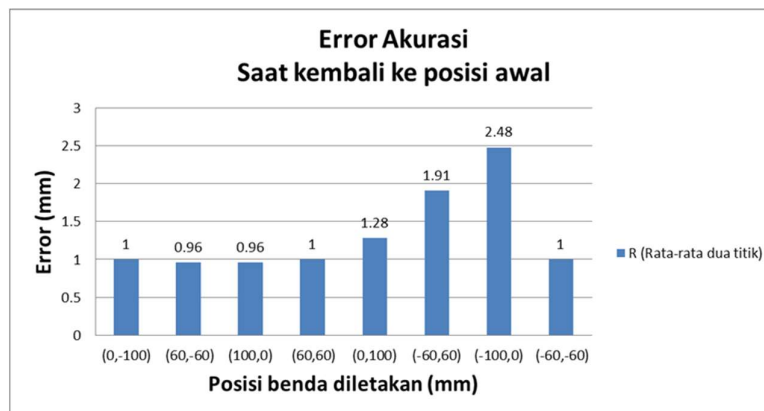
Berdasarkan hasil data yang telah diperoleh sesuai pada grafik yang ditunjukkan pada gambar 11, didapatkan rata-rata presentase tingkat keberhasilan yang didapatkan dari setiap pengujian adalah 91,74%, dengan presentase tingkat keberhasilan terkecil 91,45% saat melakukan pergerakan pada sumbu positif X positif Y dan sumbu negatif X negatif Y dan presentase tingkat keberhasilan terbesar 92,34% saat melakukan pergerakan pada sumbu negatif X positif Y dan sumbu positif X negatif Y. Dari keempat pengujian tersebut, presentase tingkat keberhasilan yang dihasilkan masih dibawah 100%, karena kurangnya akurasi yang disebabkan oleh adanya error pada sudut yang dihasilkan pada servo.



Gambar 11. Grafik presentase tingkat keberhasilan pada setiap pengujian.

Pengujian Akurasi Saat Balik Posisi Awal Pada Sumbu XY

Posisi peletakan benda dilakukan pada sumbu X, sumbu Y dan secara diagonal dengan kombinasi sumbu XY, dengan posisi pada jangkauan maksimumnya, yaitu (0,-100) mm, (60,-60) mm, (100,0) mm, (60,60) mm, (0,100) mm, (-60,60) mm dan (-60,-60) mm, serta ketinggian sumbu Z untuk peletakan konstan pada posisi -230 mm.



Gambar 12. Grafik error akurasi saat kembali ke posisi awal.

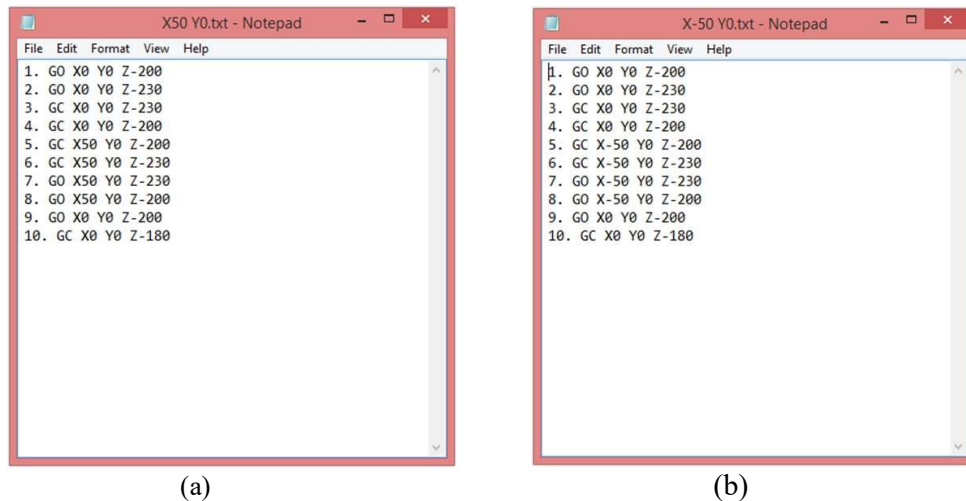


Gambar 13. Jarak atau gap antara benda dan alas.

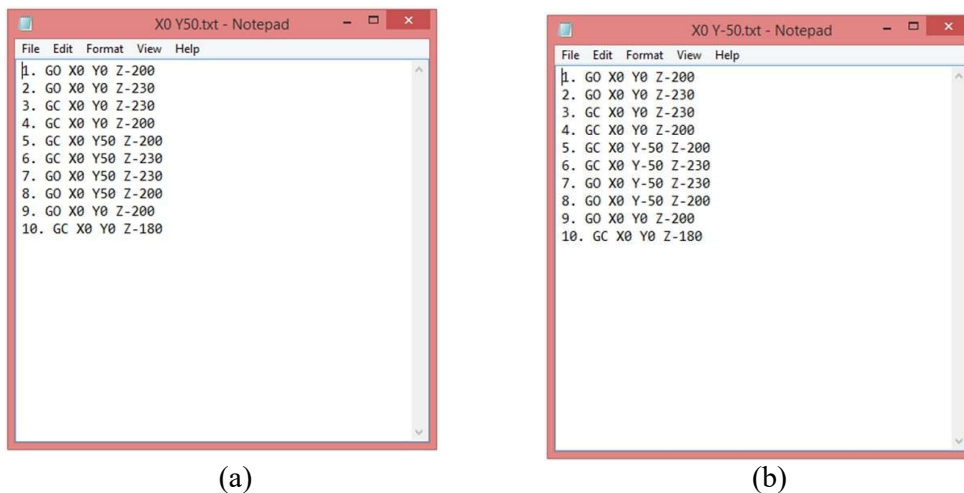
Dari gambar grafik tersebut dapat dilihat saat objek benda kembali ke posisi awal dari posisi peletakan yang telah ditentukan memiliki nilai error yang berbeda-beda, dengan nilai error akurasi terbesar adalah 2,48 mm ketika benda diletakkan pada posisi (-100,0) mm. Penyebab besar nilai error ini terjadi karena pada saat kembali ke posisi awal, benda dan alas memiliki jarak atau gap yang ditunjukkan pada gambar 13, sehingga ketika benda dilepas dari gripper benda akan terjatuh dan bergeser dari posisi awalnya.

Pengujian Mode Perekaman Posisi

Pengujian ini dilakukan pada 4 posisi peletakan pada sumbu X dan Y, yaitu (50,0) mm, (- 50,0) mm, (0,50) mm dan (0, -50) mm. Setiap posisi memiliki tahapan untuk melakukan proses peletakan yang telah disimpan dalam bentuk file text, yang ditunjukkan pada gambar 14 dan gambar 15.



Gambar 14. Tahapan untuk posisi peletakan (a) (50,0) mm (b) (-50,0) mm.



Gambar 15. Tahapan untuk posisi peletakan (a) (0,50) mm (b) (0,-50) mm.

Tabel 4. Hasil pengukuran posisi peletakan dengan mode perekaman posisi.

Percobaan	Posisi peletakan (mm)		Pengukuran sumbu rata-rata (mm)		Error Rata-rata (mm)		
	X	Y	X	Y	$ \Delta X $	$ \Delta Y $	R
1	50	0	56	1	6	1	6.08
2	-50	0	-56	-0.6	6	1	6.08
3	0	50	0	57.4	0	7.4	7.4
4	0	-50	-	-54.4	1.2	4.4	4.57
			Rata-rata		3	3	6

Dari hasil pengukuran pada tabel 4, menunjukkan robot memiliki konsistensi yang cukup bagus dalam melakukan tugas pick & place secara otomatis dengan menggunakan metode perekaman posisi. Dengan selisih 1 mm pada sumbu X dan Y antara pengulangan sebelum dan sesudahnya.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil pengujian dari hasil perancangan yang dibuat dapat diambil beberapa kesimpulan bahwa error akurasi yang dihasilkan dari robot delta masih sangatlah besar. Pada pengujian pada sumbu Z didapatkan rata-rata error 3 mm dan pada saat melakukan perpindahan posisi robot memiliki presentase keberhasilan rata-rata 91,74%. Begitu juga saat kembali ke posisi awal dari posisi peletakkannya robot memiliki error akurasi terbesar 2,48 mm dan saat dalam mode perekaman posisi robot memiliki konsistensi yang cukup bagus dalam melakukan tugas pick & place secara berulang pada posisi yang sama dalam, dengan selisih paling kecil 1 mm pada sumbu X dan Y antara pengulangan sebelum dan sesudahnya. Nilai error ini dapat disebabkan karena error pada sudut yang dihasilkan pada motor servo atau kurangnya akurasi dalam pencetakan bagian robot.

Untuk meningkatkan akurasi pada aktuatornya dapat digunakan aktuator yang lebih akurat, seperti motor stepper.

DAFTAR REFERENSI

- [1] Williams II, R.L., The Delta Parallel Robot: Kinematics Solutions, Mechanical Engineering, Ohio University, 2016.

- [2] Lynch, K. M., Frank C. Park, Modern Robotics: Mechanics, Planning, and Control, Cambridge University Press, 2017.
- [3] Andrioaia, D., Marius Pascu, Lucian Mihaila, Claudiu Florin Obrea, Determining the workspace in case of the robots with parallel structure delta 3dof, Annals & Proceedings of DAAAM International 2012, 2012.
- [4] “Arduino Mega 2560 Rev 3.”[Online] . Available : <https://store.arduino.cc/usa/mega-2560-r3>. [Accessed 05-Des-2020] .
- [5] “Types of Robots Based on Configuration.”[Online]. Available : <https://www.plantautomationtechnology.com/articles/types-of-robots-based-on-configuration>. [Accessed 05-Des-2020].