

Robot Paralel Konfigurasi Delta Dengan Penggerak Motor Servo

Delta Configuration Parallel Robot With Servo Motor Drive

Excelsis Deo^{1*}, Martanto²

^{1,2}Program Studi Teknik Elektro, Kampus III, Universitas Sanata Dharma Yogyakarta
Paingan, Maguwoharjo, Depok, Sleman, Yogyakarta, telp. (0274) 883037, 883968 Fax. (0274) 886529
excelsis48@gmail.com^{1*}, martanto@usd.ac.id²

Abstrak – Robot menjadi pilihan untuk membantu pekerjaan manusia mengatasi masalah kepresisian, keamanan, fleksibilitas dan pekerjaan yang berulang. Bidang industri merupakan salah satu bidang yang telah menggunakan robot dalam pekerjaannya untuk memenuhi kebutuhan konsumen dengan efisien, terutama dalam melakukan tugas pick & place yang membutuhkan keamanan, kecepatan, presisi dan konsistensi. Untuk mencapai tujuan tersebut dibuatlah robot delta yang cocok dalam melakukan tugas tersebut, terutama dalam industri pengemasan. Pada penelitian ini robot delta yang dibuat merupakan prototype yang memiliki ukuran kecil dan berbasis Arduino Mega 2560. Robot delta ini memiliki 3 DoF (Degree of Freedom) yang disusun secara paralel dengan konfigurasi segitiga. Aktuator robot ini menggunakan motor servo yang dikontrol oleh mikrokontroler dengan input yang berasal dari joystick dan GUI melalui komunikasi serial. Input yang berasal dari joystick dan GUI diproses oleh mikrokontroler untuk melakukan perhitungan inverse kinematics yang telah diuraikan, sehingga mendapatkan hasil sudut untuk ketiga servo untuk mencapai posisi end-effector yang diinginkan. Selain secara manual, robot dapat dikendalikan secara otomatis dengan mode perekaman posisi.

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

Abstract – Robots are the choice to help human work overcome the problems of precision, safety, flexibility and repetitive work. The industrial sector is one field that has used robots in its work to efficiently meet consumer needs, especially in carrying out pick & place tasks that require security, speed, precision and consistency. In order to achieve this goal, a delta robot is made that is suitable for carrying out these tasks, especially in the packaging industry. In this research, the delta robot made is a prototype that has a small size and is based on Arduino Mega 2560. This delta robot has 3 DoF (Degree of Freedom) arranged in parallel with a triangular configuration. This robot actuator uses a servo motor which is controlled by a microcontroller with input from joystick and GUI via serial communication. The input from the joystick and GUI is processed by the microcontroller to perform the inverse kinematics calculations that have been described, so as to get the angle results for the three servos to achieve the desired end-effector position. In addition to manually, the robot can be controlled automatically with position recording mode.

Keywords: Delta robot, Gripper, Arduino Mega, Servo Motor

1. Pendahuluan

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 umum robot

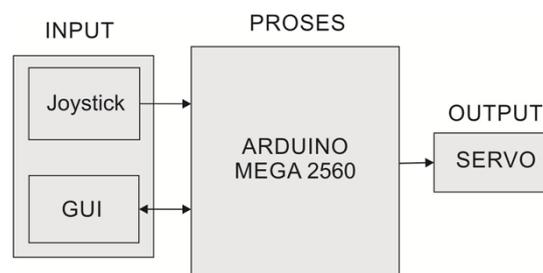
manipulator dibedakan menjadi beberapa jenis berdasarkan konfigurasi mekanikalnya yaitu Cartesian, SCARA, Articulated, Parallel. Untuk memenuhi kebutuhan konsumen dengan efisien, telah banyak industri yang menggunakan robot manipulator dalam membantu pekerjaan terutama dalam melakukan tugas pick & place, 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 parallel tersebut adalah tipe delta [5].

Secara konstruksi robot delta memiliki 3 DoF (Degree of Freedom) yang disusun secara parallel 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.

2. 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.



Gambar 1. Blok diagram sistem keseluruhan robot delta.

2.1. Inverse Kinematics

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

$$E_1 = 2L(y + a) \quad (1)$$

$$F_1 = 2zL \quad (2)$$

$$G_1 = x^2 + y^2 + z^2 + a^2 + L^2 + 2ya - l^2 \quad (3)$$

- Lengan 2

$$E_2 = -L(\sqrt{3}(x + b) + y + c) \quad (4)$$

$$F_2 = 2zL \quad (5)$$

$$G_2 = x^2 + y^2 + z^2 + b^2 + c^2 + L^2 + 2xb + 2yc - l^2 \quad (6)$$

- Lengan 3

$$E_3 = L(\sqrt{3}(x - b) + y - c) \quad (6)$$

$$F_3 = 2zL \quad (8)$$

$$G_3 = x^2 + y^2 + z^2 + b^2 + c^2 + L^2 - 2xb + 2yc - l^2 \quad (9)$$

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 :

$$a = w_B - u_p \quad (10)$$

$$b = \frac{s_p}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2}w_B \quad (11)$$

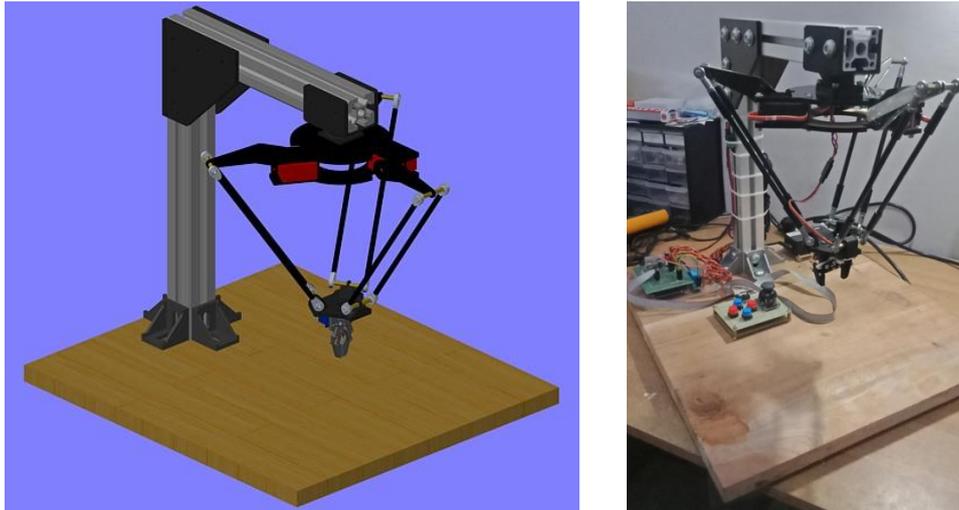
$$c = w_p - \frac{1}{2}w_B \quad (12)$$

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

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

2.2. Perancangan Mekanik

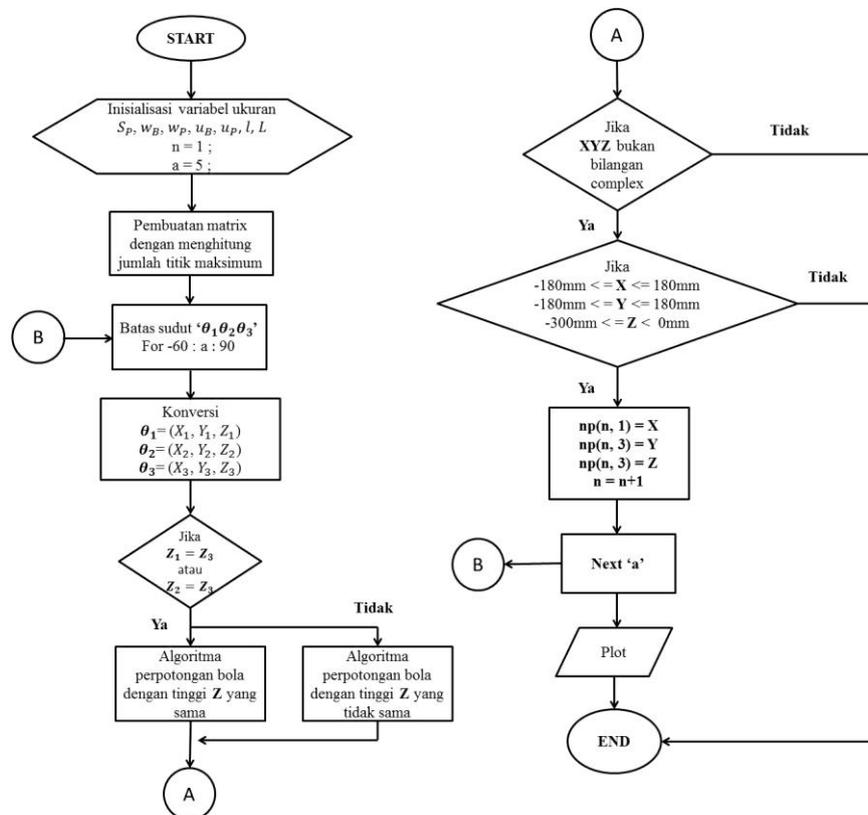
Kerangka robot dibagi menjadi empat bagian yakni *body (base)*, lengan bagian atas, lengan bagian bawah (*Parallelograms*), *end-effector*, stand dan gripper, yang ditunjukkan pada gambar 2. Pada bagian *body (base)* menggunakan bahan akrilik dengan tebal 5 mm dan lengan bagian atas menggunakan bahan 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.

2.3. 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.

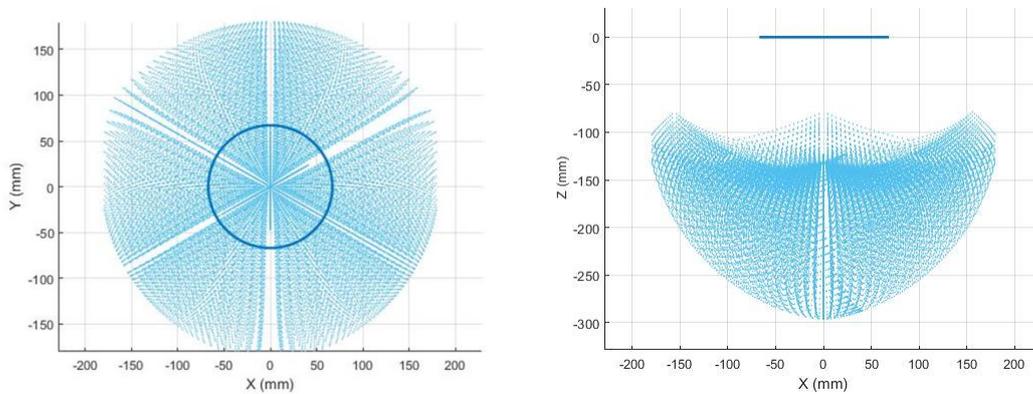


Gambar 3. Flowchart simulasi area kerja.

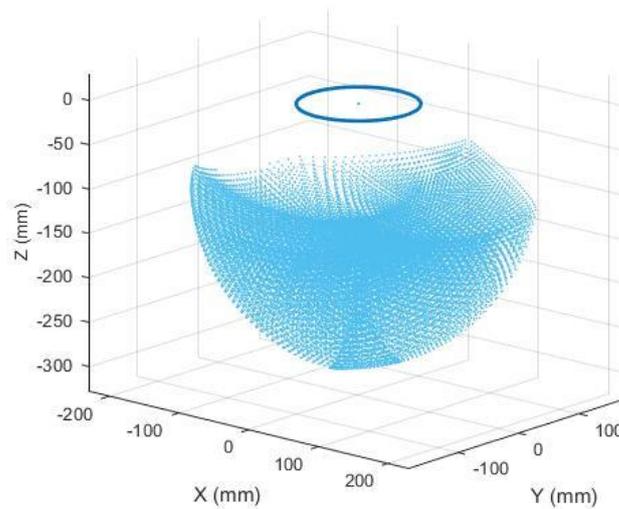
Tabel 1. Ukuran desain robot.

Variabel	Panjang (mm)	Panjang (m)
S_P	51,96 mm	0,05196 m
w_B	67 mm	0,067 m
w_P	15 mm	0,015 m
u_B	134 mm	0,134 m
u_P	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.

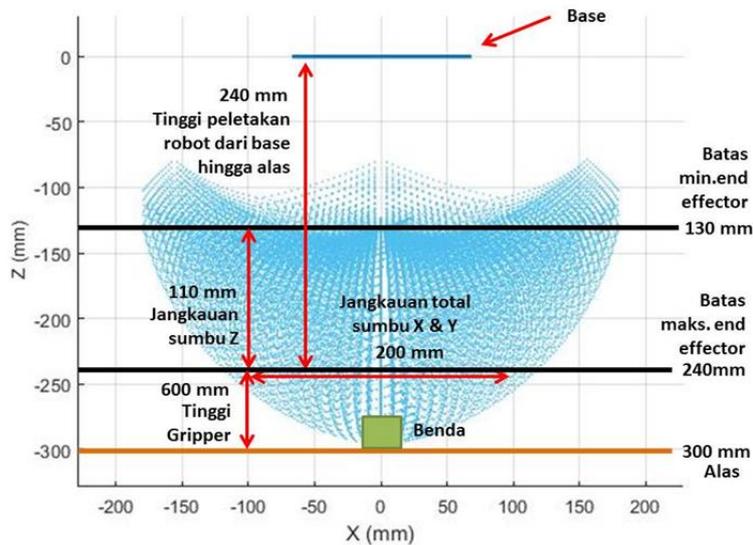


Gambar 4. Hasil plot *Workspace* (tampak atas dan depan)



Gambar 5. Hasil plot *Workspace* (tampak 3D)

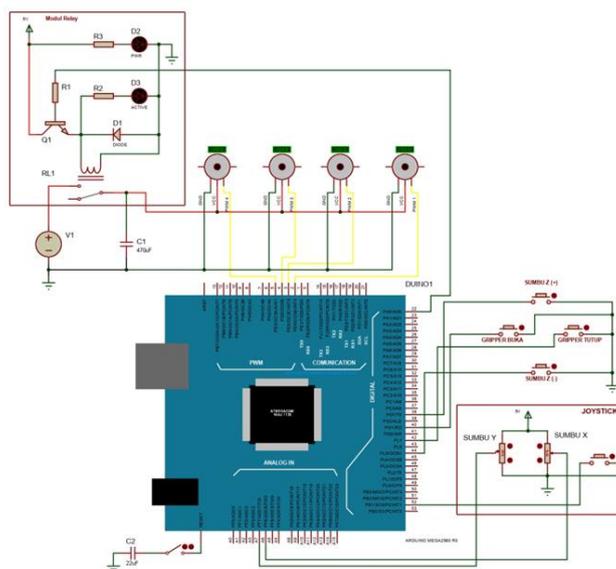
Dari hasil plot *workspace* yang telah dilakukan dapat dibuat posisi peletakan bendanya, seperti yang ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 6. Posisi peletakan benda berdasarkan *Workspace*.

2.4. Perancangan Rangkaian Pengendali Servo

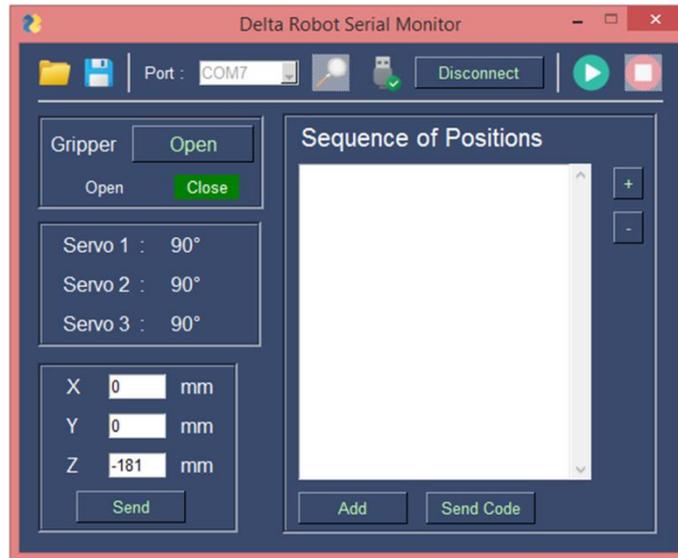
Pada gambar 7 rangkaian pengendali servo ini menggunakan Arduino Mega 2560[4] sebagai *driver servo* yang dikendalikan oleh modul *joystick* untuk mengendalikan robot pada sumbu X, Y dan tombol posisi *homing*, serta dua buah *push button* untuk mengendalikan sumbu Z dan dua buah *push button* untuk 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

2.5. 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*.

3. 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.

3.1. Pengujian Ketinggian *End-Effector* Pada Sumbu Z

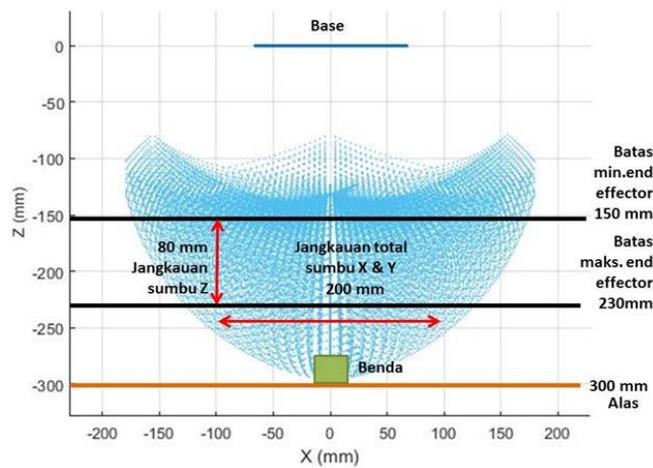
Pengujian ini dilakukan dengan mengukur ketinggian sumbu Z dan sudut ketiga *servo* setiap 10 mm dari ketinggian -130 mm hingga -240 mm sesuai dengan teori perancangan yang ditunjukkan pada gambar 6. Data pengujian ditunjukkan pada tabel 2 dibawah ini :

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

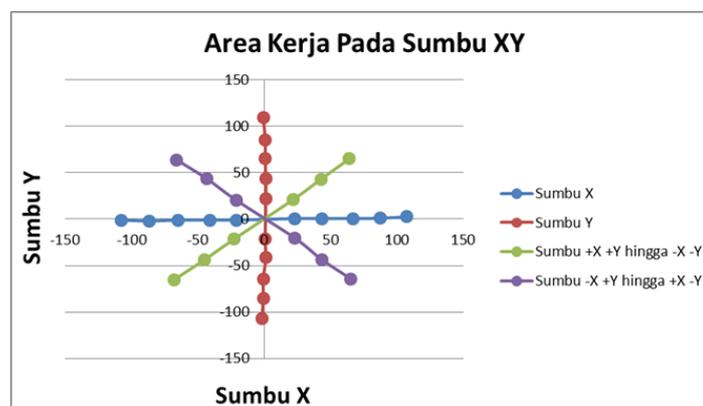
Percobaan	Input GUI Sumbu Z (mm)	Error			
		Sumbu Z (mm)	Servo 1 (°)	Servo 2 (°)	Servo 3 (°)
8	-220	2	0	0	1
9	-230	2	1	0	1
Rata-rata		3	1	0	1

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.

3.2. Pengujian Akurasi *Pick & Place* Dan Area Kerja Pada Sumbu XY

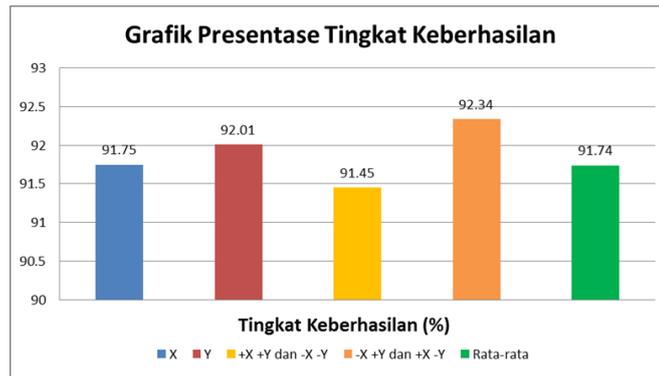


Gambar 10. Grafik area kerja pada sumbu XY.

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.

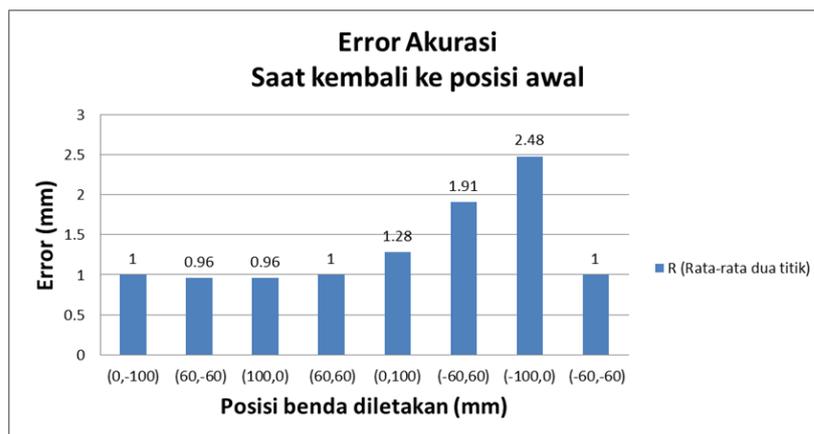
Berdasarkan hasil data yang telah diperoleh sesuai pada grafik yang ditunjukkan pada gambar 11, didapatkan rata-rata presentase tingkat keberhasilan yang didapatkan dari setiap pengujian adalah 91,74%, dengan presentase tingkat keberhasilan terkecil 91,45% saat melakukan pergerakan pada sumbu positif 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.

3.3. 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.

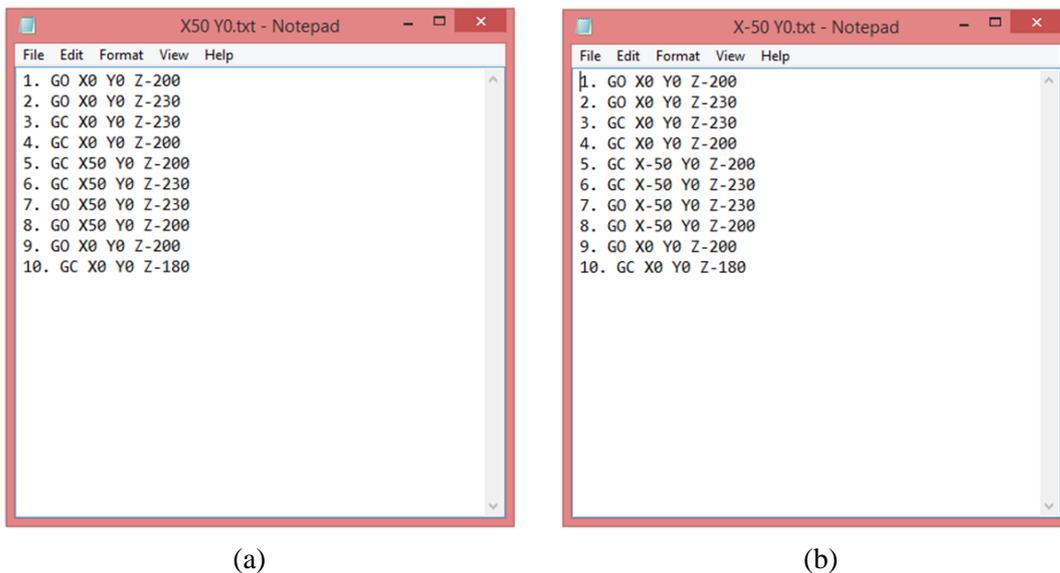


Gambar 13. Jarak atau gap antara benda dan alas.

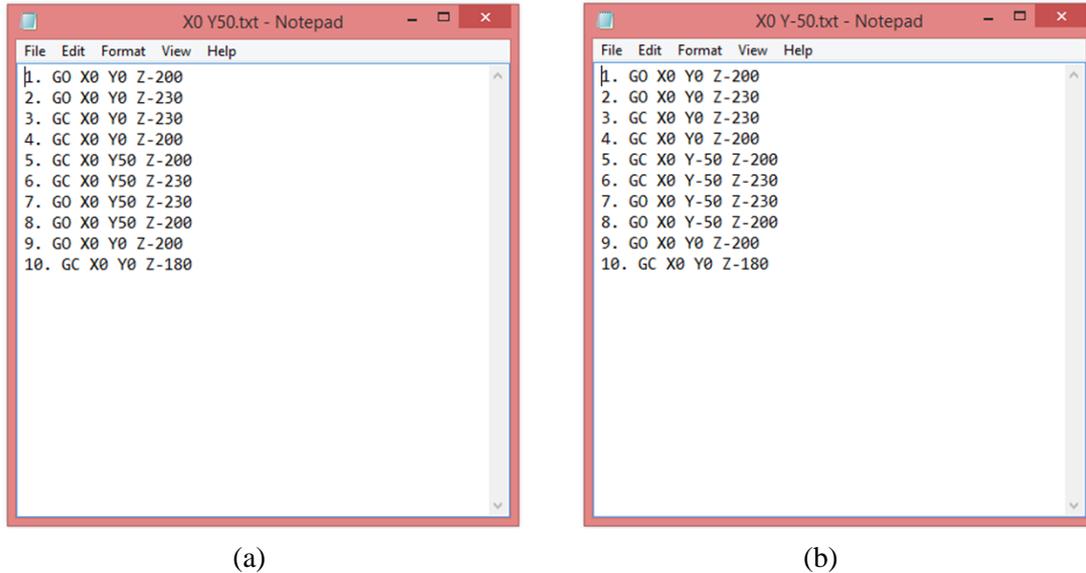
Dari gambar grafik tersebut dapat dilihat saat objek benda kembali ke posisi awal dari posisi peletakan yang telah ditentukan memiliki nilai *error* yang berbeda-beda, dengan nilai *error* akurasi terbesar adalah 2,48 mm ketika benda diletakkan pada posisi (-100,0) mm. Penyebab besar nilai *error* ini 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.

3.4. 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	-1.2	-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.

4. Kesimpulan

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.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kami ucapkan kepada semua pihak yang telah membantu menyelesaikan penelitian ini. Serta terima kasih kepada prodi teknik elektro Univeritas Sanata Dharma atas dukungannya untuk publikasi penelitian ini.

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].