

RANCANG BANGUN TRAINABLE SERVO ROBOTIC ARM 4 DOF (DEGREE OF FREEDOM)

Mukhlas Abidin

Teknik Elektro, Teknik, Universitas Negeri Surabaya
e-mail : mukhlasabidin13@gmail.com

Bambang Suprianto

Teknik Elektro, Teknik, Universitas Negeri Surabaya
e-mail : bambangsuprianto@unesa.ac.id

Abstrak

Era industri 4.0 menuntut industri untuk dapat menghasilkan produk secara cepat dan efisien, dengan adanya perkembangan teknologi dibidang robotika dan sistem otomasi membuat hal tersebut bisa tercapai. Salah satu alat yang dapat digunakan untuk meningkatkan produksi secara cepat dan efisien adalah *arm robot* yang biasanya digunakan untuk pengelasan, pemindahan barang dan hal-hal lain yang sulit dan berbahaya untuk dilakukan manusia. Penelitian ini memiliki tujuan untuk membuat *arm robot* yang memiliki fungsi untuk memindahkan objek. *Arm robot* memiliki 4 *joint* dan *gripper* pada *end effectornya*. *Arm robot* tersebut juga bisa diajari atau *trainable* untuk melakukan gerakan dengan menyimpan setiap pose tanpa perlu memrogramnya terlebih dahulu, sehingga dinamakan *trainable servo robotic arm 4 DOF (degree of freedom)*. Hasil pengujian *trainable servo robotic arm 4 DOF (degree of freedom)* setelah melakukan pemindahan tujuh objek yang berbeda pada lima lokasi peletakan adalah sukses menjalankan tugas karena objek telah berhasil meletakkan objek sesuai lokasi yang ditentukan. Tetapi masih terdapat error pada setiap servo yang dijalankan dengan selisih rata-rata erornya adalah 5.443214286° atau 3.16% dan waktu rata-rata pose yang dihasilkan oleh pengujian adalah 2.884615 detik setiap menjalankan satu pose.

Kata kunci: *Arm robot, Pose, Trainable.*

Abstract

Industry era 4.0 requires the industry to be able to produce products quickly and efficiently, with the development of technology in the field of robotics and automation systems to make this possible. One of the tools that can be used to increase production quickly and efficiently is robot arm which is usually used for welding, moving goods and other things that are difficult and dangerous for humans to do. This study aims to make a robot arm that has a function to move objects. The robot arm has 4 joints and a gripper on its end-effector. The robot arm can also be taught or trainable to make movements by storing each pose without the need to program it first, so it is called a trainable servo robotic arm 4 DOF (degree of freedom). The results of the test trainable servo robotic arm 4 DOF (degree of freedom) after moving seven different objects at five locations are successful in carrying out the task because the object has successfully placed the object according to the specified location. But there is still an error in each servo that is run with the difference in the average error is 5.443214286° or 3.16% and the average time of the pose generated by the test is 2.884615 seconds for each pose.

Keywords: Robot arm, Pose, Trainable

PENDAHULUAN

Perkembangan ekonomi dapat dipengaruhi dengan peningkatan produktifitas industri. Sehingga, dibutuhkan industri yang mampu bekerja secara efisien dan berkualitas agar dapat menarik konsumen baik dalam maupun luar negeri. Era industri 4.0 menuntut industri untuk dapat menghasilkan produk secara cepat dan efisien, dengan adanya perkembangan teknologi dibidang robotika dan sistem otomasi membuat hal tersebut bisa tercapai. Selain semakin cepat dan efisien dengan adanya hal tersebut efisiensi semakin meningkat serta tingkat *error* semakin kecil. Dengan kesadaran akan hal tersebut, banyak perusahaan

terutama di negara-negara maju yang beralih dari pekerja manusia menjadi mesin dan robot. Sehingga, kebutuhan akan robot dan sistem otomasi semakin meningkat setiap tahunnya. Salah satu alat yang dapat digunakan adalah lengan robot yang biasanya digunakan untuk pengelasan, pemindahan barang dan hal-hal lain yang sulit dan berbahaya untuk dilakukan manusia. Inspirasi lengan robot yang digunakan adalah robot Kuka, karena robot ini banyak digunakan didunia industri baik untuk pengelasan, pemindahan barang dan yang lain. Robot Kuka adalah sebuah robot yang dijalankan menggunakan software bernama Kuka Sim Pro. Pengguna harus terlebih dahulu mempelajari cara menggunakan software tersebut untuk menjalankan

robot Kuka. Maka, dibuatlah lengan robot yang bisa diajari atau *trainable* dengan memanfaatkan potensiometer yang berada didalam servo. Sehingga, dibuatlah *Trainable Servo Robotic Arm 4 DoF (degree of freedom)*. Dengan menggerakkan lengan robot secara manual, maka nilai perubahan dari masing-masing servo dapat diketahui melalui potensiometer yang disusun sedemikian rupa sehingga dapat menyesuaikan pergerakan servo dan nilai potensiometer tersebut dapat disimpan. Dan lengan robot dapat mengulangi gerakan sesuai nilai yang telah disimpan.

TINJAUAN PUSTAKA

Manipulator Arm Robot

Manipulator *arm robot* merupakan bagian mekanik penyusun *arm robot* sehingga dapat berfungsi sesuai dengan yang diinginkan. Di dalam *arm robot* terdapat beberapa bagian-bagian yaitu *base* (dasar atau pijakan dari robot *arm*), *joint* (sendi atau titik yang mampu menghasilkan gerakan yang terkontrol), *link* (rangka penyusun robot *arm*) dan *end effector* (bagian paling ujung yang melakukan tugas tertentu, seperti pencapit dan lain sebagainya).



Gambar 1. Lengan robot

Arm robot, seperti namanya meniru lengan manusia sehingga memiliki bagian yang berfungsi seperti sendi manusia yaitu *joint*. *Degree of freedom (DoF)* adalah derajat independensi yang diperlukan untuk menyatakan posisi suatu sistem pada setiap saat. Secara sederhana, DoF merupakan persendian (*joint*) dari *arm robot*.

Ada beberapa jenis *joint* yang diklasifikasikan berdasarkan pergerakan antar *link* yaitu:

1. Sendi *linear (linear joint / L joint)*
Gerakan relatif antara *link* input dan *link* output bertranslasi dengan gerakan lurus (*sliding*), dimana sumbu kedua *link* sejajar.
2. Sendi ortogonal (*orthogonal joint / O joint*)
Sendi ini juga bergerak dengan meluncur, tetapi kedua batang-hubung saling tegak lurus selama bergerak.

3. Sendi rotasional (*rotational joint / R joint*)
Gerakan rotasional relatif, dengan sumbu putar tegak lurus terhadap sumbu batang-hubung input dan batang-hubung output.
4. Sendi puntir (*twisting joint / T joint*)
Sendi juga bergerak rotasional, tetapi sumbu rotasi sejajar terhadap sumbu kedua batang-hubung.
5. Sendi putar (*revolving joint / V joint*)
Dalam jenis sendi ini, sumbu batang-hubung input sejajar dengan sumbu rotasi sendi, dan sumbu batang-hubung output tegak lurus dengan sumbu rotasi.

Kinematika

Lengan robot adalah salah satu alat yang digunakan manusia untuk mempermudah pekerjaan manusia. Dalam hal pergerakan robot diterapkan kinematika robot. Kinematika sendiri merupakan cabang mekanika klasik yang menggambarkan gerakan titik, benda, dan sistem benda (kelompok benda) tanpa mempertimbangkan massa masing-masing atau gaya yang menyebabkan gerak.

Kinematika sendiri dibagi menjadi *forward kinematic* dan *inverse kinematic*. Berikut penjelasannya:

a. Forward kinematic

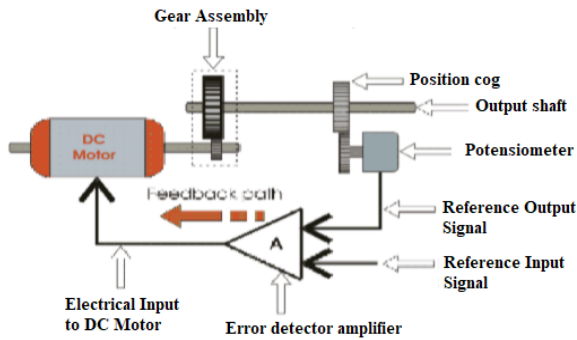
Forward kinematic adalah analisis kinematik untuk mendapatkan koordinat posisi (x, y, z) jika diketahui sudut dari tiap sendi. Misalnya, jika memiliki robot n -DoF dan diketahui sudut dari setiap sendinya maka dapat digunakan analisisnya untuk mendapatkan koordinat posisi robot.

b. Invers kinematic

Invers kinematic adalah analisis kinematik untuk mendapatkan sudut masing-masing sendi jika diketahui koordinat posisi (x, y, z). Dengan penerapan algoritma *invers kinematic* dapat diketahuikombinasi besar sudut-sudut engselyang menghasilkan posisi akhir tertentu dari ujung lengan robot.

Motor Servo

Motor Servo merupakan perangkat atau *actuator* putar (motor) yang mampu bekerja dua arah (*Clockwise* dan *Counter Clockwise*) dan dilengkapi rangkaian kendali dengan sistem *closed feedback* yang terintegrasi pada motor tersebut. Gambar 2 merupakan sistem kontrol dari motor servo. Dimana, saat dimasukkan inputan sudut dari mikrokontroler, akan dikirimkan tegangan menuju motor servo. Selanjutnya motor DC akan berputar sebesar sudut yang dimasukkan. Kemudian *gear assembly* akan memutar *output shaft* yang merupakan output dari servo motor.



Gambar 2. Sistem Kontrol dari motor servo

Pada *output shaft* sendiri terdapat *gear* yang memutar *potensiometer*. *Potensiometer* tersebut akan berputar sesuai dengan *output shaft* dan mengkonversinya menjadi tegangan. Tegangan tersebut akan menghasilkan *reference output* signal yang akan dibandingkan dengan *reference input* sinyal apakah sesuai. Perbandingan tersebut akan terjadi pada *error detector amplifier*. Hasilnya akan dikirimkan ke motor DC sebagai tegangan. Bila telah sesuai maka tidak akan dikirimkan tegangan menuju motor DC.



Gambar 3. Motor Servo MG996R

Pada pembuatan *trainable servo robotic arm* 4 DoF menggunakan servo antara lain:

1. MG90S

Merupakan servo dengan dimensi yang kecil (22.5x12x35.5 mm) dan ringan yaitu hanya 13.4 gram. Meskipun bentuknya kecil, gear penggeraknya sudah terbuat dari metal, dan memiliki jangkauan sudut sebesar 180°.

2. MG995 dan MG996R

MG996R (bisa dilihat pada gambar 2) merupakan *upgrade* dari MG995. Sehingga yang semula pada MG995 memiliki torsi 8.5 kgf.cm (4.8V), 10kgf.cm (6V) menjadi 9.4 kgf.cm (4.8V), 11kgf.cm (6V) pada MG996R. Dan *operating speed* dari 0.2s/60° (4.8V), 0.16s/60° (6V) menjadi 0.17s/60° (4.8V), 0.14s/60° (6V). sehingga dapat disimpulkan bahwa MG996R memiliki

kekuatan dan kecepatan yang lebih baik dari MG995.

Potensiometer

Potensiometer adalah *resistor* tiga terminal dengan sambungan geser yang membentuk pembagi tegangan dapat diatur. Jika hanya dua terminal yang digunakan (salah satu terminal tetap dan terminal geser), potensiometer berperan sebagai *resistor variabel* atau *rheostat*. Potensiometer biasanya digunakan untuk mengendalikan peranti elektronik seperti pengendali suara pada penguat. Potensiometer yang dioperasikan oleh suatu mekanisme dapat digunakan sebagai transduser, misalnya sebagai sensor *joystick*.

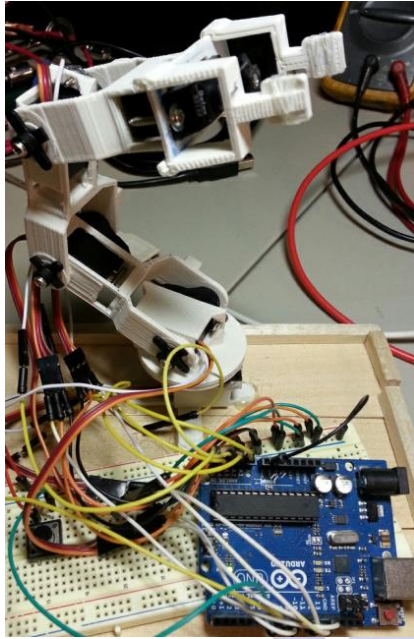


Gambar 4. Potensiometer

Potensiometer jarang digunakan untuk mengendalikan daya tinggi (lebih dari 1 Watt) secara langsung. Potensiometer digunakan untuk mengatur taraf isyarat analog (misalnya pengendali suara pada peranti audio), dan sebagai pengendali masukan untuk sirkuit elektronik.

Trainable Robotic Arm

Setelah melihat beberapa video tutorial pembuatan “micro servo robot” yang menggunakan potensiometer untuk menggerakkan lengan robot. Penulis memutuskan untuk mencari literatur lebih banyak, dan menemukan jurnal berjudul “Trainable robotic arm” karya Robert Svec. Berbeda dengan micro servo robot, alat buatannya menggunakan servo yang sudah memiliki analog feedback pada servonya, sehingga tidak lagi menggunakan potensiometer. Alat tersebut memiliki 4 *joint* dan 1 *end-effector* serta menggunakan rangkaian yang sederhana karena masih menggunakan *breadboard*, diharapkan pada penelitian ini akan dibuat kontroler khusus sehingga menghindari gangguan dan lebih enak dilihat. Meskipun sudah menggunakan 3D printer dalam pembuatan komponen lengan robotnya, tetapi jangkauan lengan masih pendek, diharapkan *trainable servo robotic arm* 4 DoF memiliki jangkauan lengan yang lebih panjang.

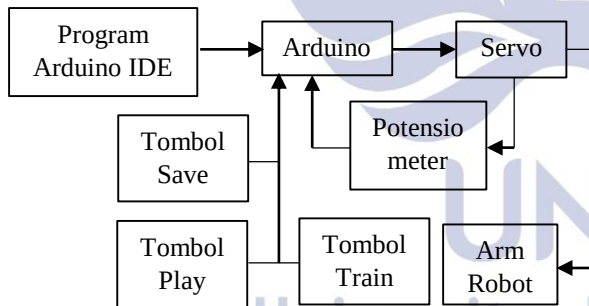


Gambar 5. Trainable robotic arm karya Robert Svec

METODOLOGI PENELITIAN

Rancangan Alat

Sesuai dengan blok diagram, maka pertama program yang berada di dalam PC akan di kirimkan ke Arduino Mega. Kemudian, Arduino Mega akan mengirimkan intruksi sesuai dengan program ke servo. Program tersebut adalah menyimpan pergerakan yang dilakukan oleh servo berupa nilai yang dapat diketahui oleh nilai potensiometer yang menjadi *feedback*.



Gambar 6. Blok diagram rancang bangun trainable servo robotic arm 4 DoF

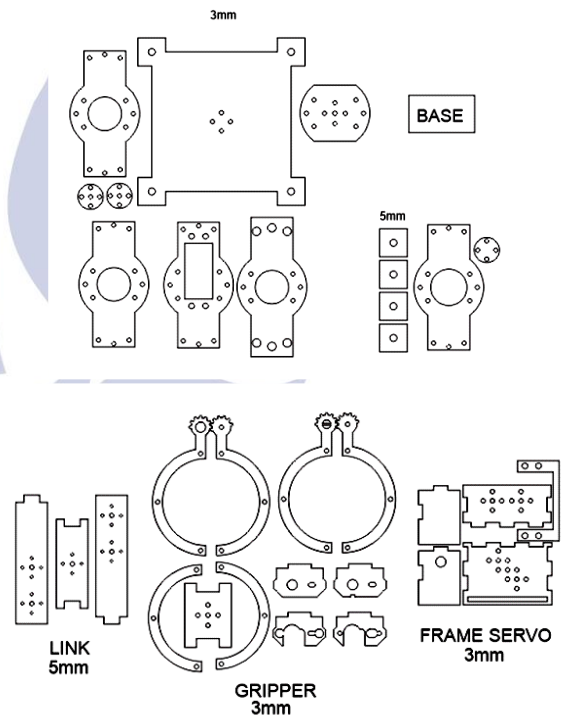
Setelah diperoleh nilai dari pergerakan servo tersebut, Arduino akan menyimpan nilai-nilai tersebut dengan tombol *save* (*push button*). Sebelum dapat menyimpan nilai sudut, terlebih dahulu menekan tombol *train* agar *arm robot* dapat digerakkan. Karena pada posisi awal dan setelah ditekan tombol *save*, *arm robot* tidak dapat digerakkan disebabkan mendapat perintah *attach* dari Arduino. Setelah semua pergerakan telah disimpan nilai-nilainya. Maka semua pergerakan tersebut dapat dijalankan dengan menekan tombol *play* (*push button*).

Rancangan Pembuatan Alat

Rancangan pembuatan alat terdiri dari tiga tahapan yaitu perancangan desain alat, perancangan mekanik dan perancangan program. Berikut merupakan penjelasan ketiga tahap pembuatan alat tersebut:

1. Perancangan desain alat

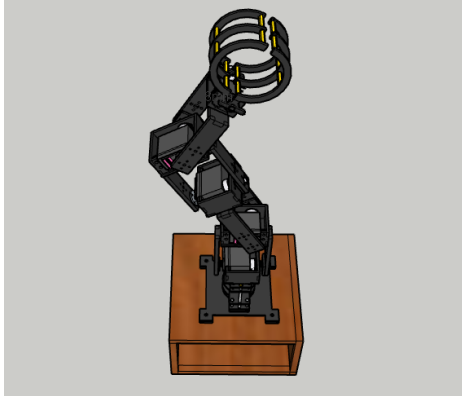
Perancangan desain dilakukan melalui dua tahap. Yang pertama perancangan desain 3 dimensi dan perancangan desain 2 dimensi. Perancangan 3 dimensi dilakukan sebagai media imajinasi untuk menggambarkan secara nyata bentuk dari alat yang akan dibuat, serta menghindari berbagai kesalahan konstruksi dalam pembuatannya. Perancangan 2 dimensi dilakukan untuk implementasi dari desain 3 dimensi. Dimana desain 2 dimensi akan memproyeksikan bagian – bagian penyusun dari alat sehingga dari bagian-bagian tersebut dapat membentuk alat seperti yang telah dibuat dengan desain 3 dimensi, dalam hal ini adalah *trainable servo robotic arm 4 DoF (degree of freedom)*.

Gambar 7. Rancangan 2 dimensi trainable servo robotic arm 4 DoF (*degree of freedom*).

2. Perancangan mekanik

Seperti namanya, mekanik atau *hardware* dari rancang bangun *trainable servo robotic arm 4 DoF* memiliki empat *joint* (4 DoF) dan penjepit (*gripper*) pada *end effector*. Kontruksinya sendiri menggunakan *acrylic* karena memiliki ketahanan yang cukup kuat dan memiliki bobot yang ringan sehingga pergerakan akan semakin mudah. Pada penelitian ini servo yang digunakan adalah servo merk MG996R yang memiliki desain yang kecil, ringan dan memiliki daya angkat yang cukup kuat.

MG99RR digunakan pada joint dan pada grippernya menggunakan MG90S yang memiliki desain yang kecil sehingga beban pada lengan tidak terlalu berat. Karena semakin berat beban, maka semakin besar pula nilai selisih rata-rata atau erornya.

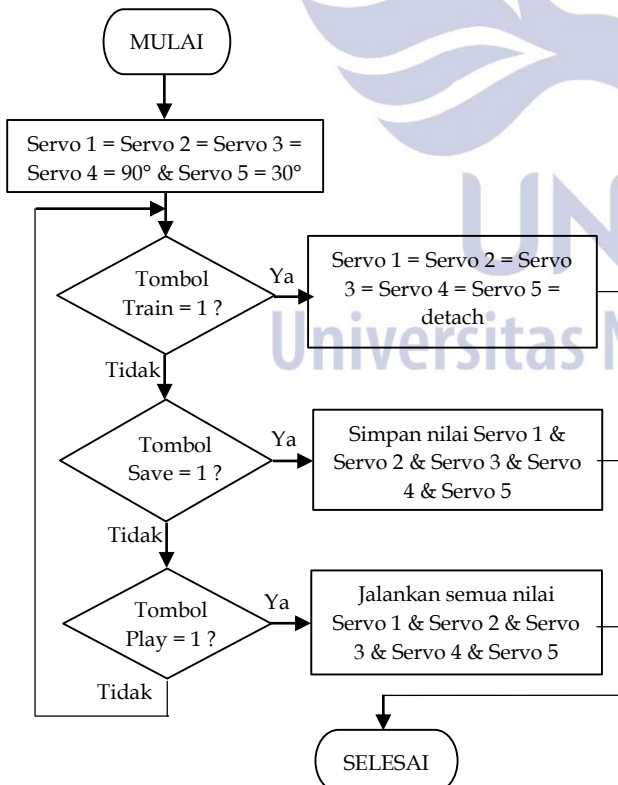


Gambar 8. Desain 3 dimensi *trainable servo robotic arm 4 DoF (degree of freedom)*

Acrylic yang telah dipotong sesuai desain kemudian dirangkain beserta dengan servo dan potensiometer sehingga terbentuklah mekanik *trainable servo robotic arm 4 DoF*.

3. Perancangan Program

Program dari *trainable servo robotic arm 4 DoF* akan dibuat seperti gambar dibawah ini.



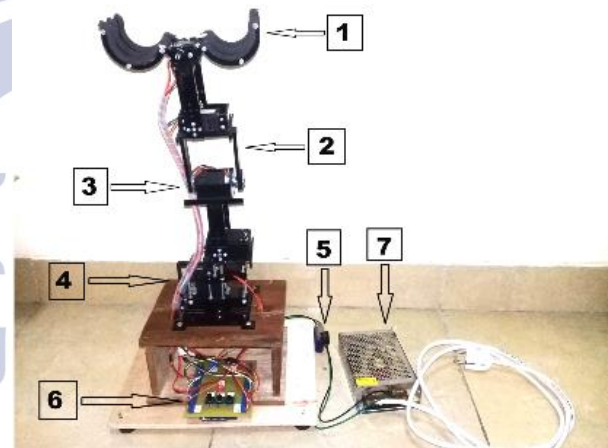
Gambar 9. Flowchard perancangan program

Kerja dari *trainable servo robotic arm 4 DoF* adalah mengambil nilai dari input yang berasal dari potensiometer yang dirancang sedemikian rupa agar nilainya menyesuaikan pergerakan servo motor DC. Nilai tersebut akan disimpan dengan menekan tombol *save*. Servo yang digunakan berjumlah lima, sehingga dalam satu proses penyimpanan akan didapatkan lima nilai potensiometer sekaligus. Sebelum dapat menyimpan pose arm robot terlebih dahulu pengguna harus menekan tombol *train*, karena saat kondisi normal *arm robot* akan mendapat perintah *attach* (mendapat sinyal dari arduino) yang menyebabkan *arm robot* tidak bisa digerakkan. Setelah ditekan tombol *train*, *arm robot* akan mendapat perintah *detach* (tidak mendapat sinyal dari arduino) sehingga *arm robot* bisa digerakkan. Setelah semua nilai dari *pose arm robot* telah disimpan, maka *arm robot* dapat dijalankan sesuai gerakan yang sebelumnya dengan menekan tombol *play*. Maka, *trainable servo robotic arm 4 DoF (degree of freedom)* akan berjalan sesuai dengan nilai potensiometer yang telah disimpan sebelumnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Realisasi *trainable servo robotic arm 4 DoF (degree of freedom)*

Berikut merupakan *trainable servo robotic arm 4 DoF (degree of freedom)* yang telah dirakit.



Gambar 10. *Trainable servo robotic arm 4 DoF (degree of freedom)*

Pada alat ini terdiri dari beberapa komponen, antara lain:

1. Gripper
2. Link
3. Join (menggunakan servo motor)
4. Base
5. Saklar emergency
6. Kontroler
7. Power supply 5v 10A

Alat ini dibuat untuk melakukan pemindahan objek dari satu titik menuju suatu lokasi pada lemari uji, yang terlebih dahulu dilakukan penyimpanan pose-pose terhadap *arm robot*.

Pengujian *trainable servo robotic arm 4 DoF (degree of freedom)*

Pengujian alat diperlukan untuk mengetahui kinerja dan kekurangan sehingga akan dihasilkan data. Setidaknya ada dua hal yang harus dilakukan untuk melakukan pengujian alat, antara lain:

1. Persiapan pengujian

Beberapa peralatan yang dibutuhkan untuk *trainable servo robotic arm 4 DoF (degree of freedom)* dapat melakukan pengujian diantaranya:

a. Objek pengujian

Dalam pengujian ini akan digunakan objek berupa karton yang dibentuk kubus. Objek pengujian memiliki luas penampang dari mulai 4x4 cm sampai 7x7 cm dengan perbedaan tiap objek 0,5 cm, sehingga objek pengujian berjumlah 7 bauh.

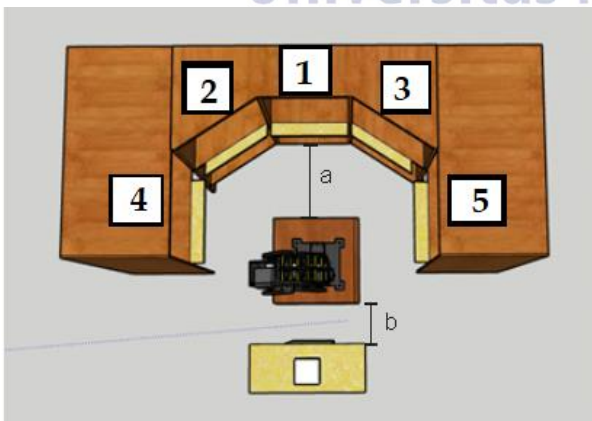
b. Lemari pengujian

Lokasi peletakan objek dibuat secara khusus membentuk huruf “n” apabila nampak dari atas karena menyesuaikan dengan konfigurasi base yang menggunakan *joint rotational*, dengan diberi kertas karton yang berbentuk segitiga siku-siku yang memanjang disepanjang bibir lemari.

c. Tiang peletakan objek

Seperti namanya, peralatan pendukung ini digunakan untuk meletakkan objek pada saat posisi awal. Dengan diletakkan berhadapan dengan lemari pengujian yang diantaranya terdapat *arm robot*.

kemudian semua komponen pengujian diletakkan seperti gambar 11. Dengan “a” sebagai jarak antara lemari pengujian dan *trainable servo robotic arm 4 DoF (degree of freedom)* yang memiliki jarak 18 cm. dan “b” merupakan jarak antara *trainable servo robotic arm 4 DoF (degree of freedom)* dengan tiang peletakan alat yang memiliki jarak 9 cm.



Gambar 11. Peletakan komponen

2. Pengujian alat

Dengan menggerakkan *arm robot*, maka secara otomatis potensiometer (yang disinkronkan dengan servo) akan menghasilkan sudut yang kemudian dapat disimpan dengan menekan tombol *save*. Setelah semua posisi lengan robot telah disimpan, dapat dijalankan semua gerakan tersebut dengan menekan tombol *play*. Pengujian dilakukan dengan cara *trainable servo robotic arm 4 DoF* akan memindahkan tujuh objek yang berbeda pada lemari pengujian dengan lima lokasi peletakan. Setelah meletakkan benda menuju ke lima lokasi, akan diamati apakah pemindahan benda telah sesuai dengan gerakan yang telah disimpan, nilai eror juga bisa diamati dengan melihat nilai perubahan yang terjadi antara nilai yang disimpan dan nilai yang dijalankan melalui serial monitor.

Hasil pengujian dan analisis kinerja dari rancang bangun *trainable servo robotic arm 4 DoF (degree of freedom)*.

Untuk mengetahui perubahan sudut yang terjadi saat alat dijalankan maka harus dicari selisih antara nilai tersimpan dengan nilai setelah dijalankan (nilai eksekusi), berikut metode perhitungannya:

Selisih pose servo

$$= \text{nilai tersimpan} - \text{nilai eksekusi}$$

Maka, besarnya nilai selisih akan dipengaruhi seberapa besar perbedaan antara nilai tersimpan dan nilai eksekusi. Untuk mengetahui total selisih rata-rata pada setiap objek terlebih dahulu menjumlah selisih rata-rata setiap pose dan membaginya dengan jumlah pose yang tersimpan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada rumus dibawah:

Selisih rata – rata servo

$$= \frac{([\text{selisih pose servo } 1] + \dots + [\text{selisih pose servo } 5])}{5}$$

Total selisih rata – rata

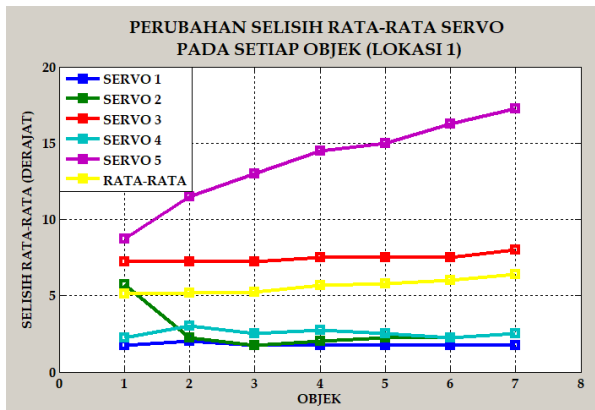
$$= \frac{(\text{Total selisih rata – rata servo } 1 \text{ sampai Servo } 5)}{5}$$

Pada saat mencari nilai selisih rata-rata servo, selisih pose servo dijadikan nilai mutlak terlebih dahulu agar saat selisih bernilai negatif (dikarenakan nilai eksekusi lebih kecil daripada nilai tersimpan) tetap dapat dijumlahkan keseluruhannya.

Berikut merupakan hasil pengujian yang telah dilakukan, memiliki lima titik lokasi pengujian.

1. Lokasi 1

Berikut merupakan grafik hasil pengujian pada lokasi 1.

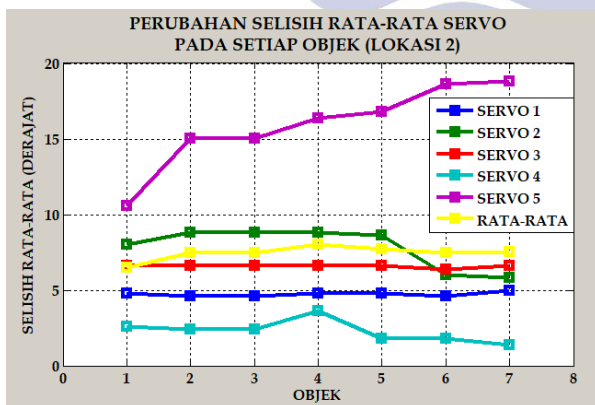


Gambar 12. Grafik perubahan selisih rata-rata servo setiap objek pada lokasi 1

Waktu yang dibutuhkan untuk memindahkan objek 1 sampai dengan objek 7 sama yaitu 12 detik. Grafik diatas menunjukkan bahwa servo 5 mengalami perubahan yang signifikan sedangkan pada servo 1 sampai servo 4 memiliki selisih rata-rata dari 1.75° sampai 8° . Garis kuning sebagai rata-rata servo yang memiliki rata-rata selisih 5.6° .

2. Lokasi 2

Berikut merupakan grafik hasil pengujian pada lokasi 2.

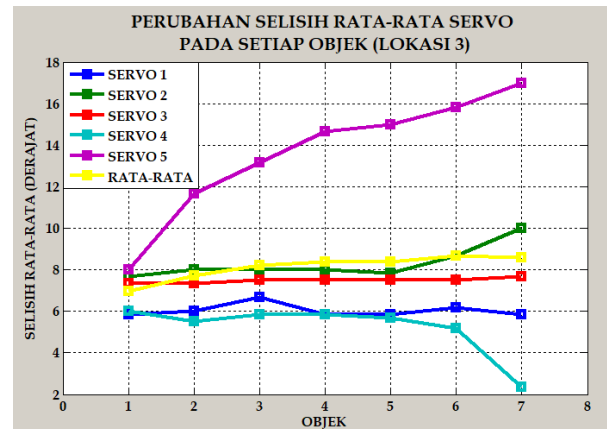


Gambar 13. Grafik perubahan selisih rata-rata servo setiap objek pada lokasi 2

Waktu yang dibutuhkan untuk memindahkan objek 1 sampai dengan objek 7 sama yaitu 15 detik. Grafik diatas menunjukkan bahwa servo 5 mengalami perubahan yang signifikan sedangkan pada servo 1 sampai servo 4 memiliki selisih rata-rata dari 1.4° sampai 8.8° . Garis kuning sebagai rata-rata servo yang memiliki rata-rata selisih 7.4° .

3. Lokasi 3

Berikut merupakan grafik hasil pengujian pada lokasi 3.

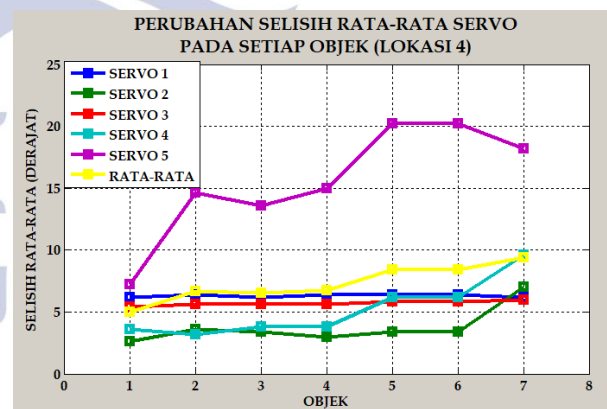


Gambar 14. Grafik perubahan selisih rata-rata servo setiap objek pada lokasi 3

Waktu yang dibutuhkan untuk memindahkan objek 1 sampai dengan objek 7 sama yaitu 16 detik. Grafik diatas menunjukkan bahwa servo 5 mengalami perubahan yang signifikan sedangkan pada servo 1 sampai servo 4 memiliki selisih rata-rata dari 2.3° sampai 10° . Garis kuning sebagai rata-rata servo yang memiliki rata-rata selisih 8.1° .

4. Lokasi 4

Berikut merupakan grafik hasil pengujian pada lokasi 4.

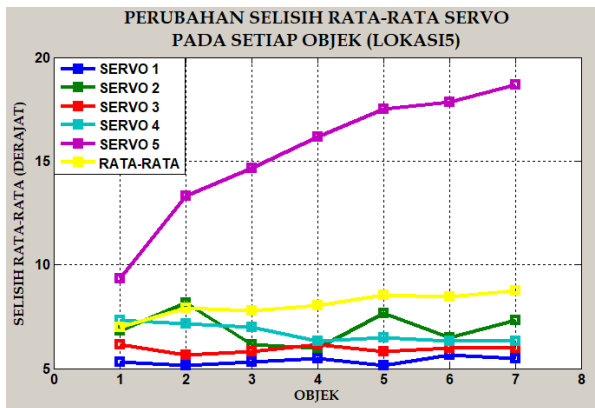


Gambar 15. Grafik perubahan selisih rata-rata servo setiap objek pada lokasi 4

Waktu yang dibutuhkan untuk memindahkan objek 1 sampai dengan objek 7 sama yaitu 15 detik. Grafik diatas menunjukkan bahwa servo 5 mengalami perubahan yang signifikan sedangkan pada servo 1 sampai servo 4 memiliki selisih rata-rata dari 2.6° sampai 9.6° . Garis kuning sebagai rata-rata servo yang memiliki rata-rata selisih 7.3° .

5. Lokasi 5

Berikut merupakan grafik hasil pengujian pada lokasi 1.



Gambar 16. Grafik perubahan selisih rata-rata servo setiap objek pada lokasi 5

Waktu yang dibutuhkan untuk memindahkan objek 1 sampai dengan objek 7 sama yaitu 17 detik. Grafik diatas menunjukkan bahwa servo 5 mengalami perubahan yang signifikan sedangkan pada servo 1 sampai servo 4 memiliki selisih rata-rata dari 5.1° sampai 7.6° . Garis kuning sebagai rata-rata servo yang memiliki rata-rata selisih 8° .

Pada kelima grafik diatas didapatkan hasil bahwa terjadi perubahan yang mencolok pada servo 5. Dengan perubahan yang *linear* menyesuaikan objek yang semakin besar. Dikarenakan servo 5 merupakan penggerak dari gripper. Dan pada saat mengambil objek, *gripper* disimpan dengan posisi menutup sempurna agar objek tidak jatuh saat dipindahkan. Semakin *gripper* terbuka maka nilai servo akan semakin kecil. Sehingga apabila objek semakin besar maka nilai selisih akan semakin besar. Waktu yang dibutuhkan untuk menjalankan alat pada masing-masing lokasi sama meskipun objek yang dibawa berbeda.

Tetapi terjadi kasus yang berbeda pada grafik perubahan selisih rata-rata servo setiap objek pada lokasi 4, dimana perubahan nilai grafiknya tidak *linear*. Hal tersebut bisa disebabkan oleh pencapitan objek yang tidak baik atau posisi objek tidak tepat. Penyebabnya adalah peletakan objek yang kurang sesuai dan atau terjadi *error* saat melakukan proses pencapitan objek.

Dengan kata lain, gripper akan lebih terbuka dari yang seharusnya dilakukan. Sehingga mengakibatkan nilai pembacaan yang lebih kecil. Sehingga selisih akan lebih besar dari yang seharusnya. Meskipun pencapitan

tidak baik, misi untuk memindahkan objek pada lokasi 4 tetap berhasil.



Gambar 17. Pencapitan objek yang tidak baik
Sumber: data primer, 2019

Waktu pengujian *trainable servo robotic arm 4 DoF*

Pengujian dilakukan pada lima lokasi yang berbeda yang menghasilkan waktu dan pose sebagai berikut:

Tabel 1. Jumlah pose dan waktu tiap lokasi

	WAKTU (DETIK)	POSE
LOKASI 1	12	4
LOKASI 2	15	5
LOKASI 3	16	6
LOKASI 4	15	5
LOKASI 5	17	6
JUMLAH	75	26
POSE/WAKTU	2.884615	

Untuk dapat mengetahui waktu rata-rata *play* pose, bisa menggunakan perhitungan berikut:

$$\text{Jumlah pose} = \text{jumlah pose lokasi 1} + \dots$$

$$+ \text{jumlah pose lokasi 5}$$

$$\text{Jumlah waktu} = \text{waktu lokasi 1} + \dots$$

$$+ \text{waktu lokasi 5}$$

$$\text{Waktu rata - rata pose} = \frac{(\text{jumlah waktu})}{(\text{jumlah pose})}$$

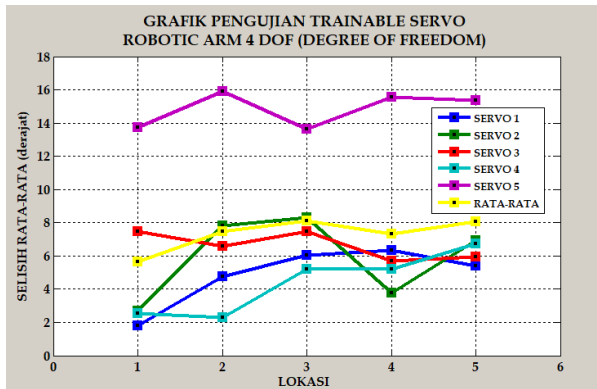
Sehingga,

$$\text{Waktu rata - rata pose} = \frac{75}{26} = 2.8846153846$$

Dari perhitungan diatas, didapatkan waktu rata-rata pose yang dihasilkan oleh pengujian adalah 2.8846153846 detik setiap menjalankan satu pose.

Hasil akhir pengujian

Setelah semua nilai selisih rata-rata setiap lokasi dilakukan perhitungan, dihasilkan nilai seperti gambar 10.



Gambar 18. Grafik pengujian trainable servo robotic arm 4 DoF

Untuk mengetahui nilai selisih rata-rata pada setiap lokasi, dapat menggunakan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} & \text{Total selisih rata - rata} \\ &= \frac{\text{selisih rata - rata servo 1 sampai servo 4}}{4} \\ &= \frac{4.85 + 5.91 + 6.63 + 4.39}{4} \end{aligned}$$

$$\text{Total selisih rata-rata} = 5.443214286^\circ$$

Sedangkan untuk mengetahui presentase total selisih rata-ratanya, dengan menggunakan perhitungan berikut:

$$\begin{aligned} & \text{Presentase total selisih rata - rata} \\ &= \frac{\text{total selisih rerata servo 1 sampai 4}}{4} \times 100\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{Presentase total selisih rata - rata} \\ &= \frac{0.0323 + 0.0328 + 0.0368 + 0.0244}{4} \times 100\% \end{aligned}$$

$$\text{Presentase total selisih rata - rata} = 3.16\%$$

Untuk memperoleh total selisih rata-rata dan presentasinya tidak dilakukan penjumlahan menggunakan nilai selisih rata-rata servo 5. Dikarenakan total selisih rata-rata adalah nama lain dari nilai *error arm robot*, sedangkan pada servo 5 merupakan penggerak *gripper* yang nilai selisihnya sangat tinggi yang dipengaruhi oleh penyapitan objek. Sehingga selisih rata-rata servo 5 tidak bisa dimasukkan kedalam perhitungan *error arm robot*. Sehingga didapatkan selisih rata-rata setiap lokasi dan nilai selisih rata-rata keseluruhan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel dibawah, yang menyimpulkan bahwa nilai selisih rata-rata keseluruhan dari pengujian ini adalah 5.443214286° atau 3.16%

PENUTUP

Kesimpulan

Trainable servo robotic arm 4 DoF (degree of freedom) bekerja dengan baik, dikarenakan dapat menjalankan misi (meletakkan objek ke lokasi) dengan sukses. Meskipun masih terdapat *error* pada saat dijalankan yang berakibat peletakan objek yang sedikit bergeser, dari yang seharusnya ditengah menjadi lebih bergeser. Pengujian dilakukan pada lima lokasi yang berbeda dengan menggunakan tujuh objek yang berbeda pula. Dari hasil pengujian tersebut didapatkan nilai selisih rata-rata keseluruhan adalah 7.3219048° dan waktu rata-rata pose yang dihasilkan oleh pengujian adalah 2.884615 detik setiap menjalankan satu pose.

Saran

Lebih memfariasikan konfigurasi *joint* agar bisa mengatasi *obstacles* yang lebih sulit. Menggunakan servo yang lebih baik, karena dengan menggunakan servo merk MG996R, MG995 dan MG90 terdapat gerakan *error* pada *output* servo. Diharapkan pula sudut servo akan lebih lebar, lebih presisi, kekuatan angkat servo lebih kuat dan memiliki ketahanan yang lebih. Membuat desain mekanik yang lebih presisi sehingga tingkat *error* akan semakin kecil. Memperkecil ukuran lengan robot, karena semakin ringan beban pada servo maka nilai *error* akan semakin kecil dan servo akan lebih awet. Disini digunakan link dengan ketebalan 5mm, bisa diperkecil dengan ketebalan 3mm.

DAFTAR PUSTAKA

- Hussin. dkk. 2013. "Robotic Aplication in Arc Welding – A Review on Current Progress". Serdang.
- Mishra, Priyambada. dkk. 2017. "Development of Robotic Arm Using Arduino Uno". Changa: Charotar University of Science & Technology
- Pennestri, E. dkk. 2005. "On the computation of degree of freedom : a didactic perspective". Rome: University of Rome Tor Engineering
- Sandor, G.N., Erdman, A.G., 1984, Advanced Mechanism Design, vol.I and II Prentice-Hall Inc..
- Svec, Robert. 2018. "Trainable Robotic Arm". Adafriut learning system
- Wardana, I Nyoman Kusuma. 2015. "Teknik Antarmuka MATLAB dan Arduino". Denpasar: Vaikutha International Publication.
- Wardana, Bagus Santa. dkk. 2014. "Faktor-faktor yang Mempengaruhi Pertubuhan Ekonomi dan Dampaknya Terhadap Kesenpatan Kerja di Provinsi Bali". Bali: Fakultas Ekonomi Bisnis Udayana.
- Widodo, Arif. 2018. "Robot industri : Introduction". Surabaya: Universitas Negeri Surabaya