

PEMBUATAN PROTOTIPE ROBOT SCARA DENGAN NEMA 17 DAN PENGONTROL GRBL

¹Aldi Nurjaman, ²Afzeri, ³Nanang Roni Wibowo

^{1,2,3}Teknologi Rekayasa Mekatronika, Politeknik Enjineering Indorama, Purwakarta, Indonesia

¹aldinoerjaman@gmail.com, ²afzeri.tamsir@pei.ac.id, ³nanang.roni@pei.ac.id

Coressonding author: aldinoerjaman@gmail.com

Abstrak

Teknologi Robot Arm telah banyak digunakan dalam dunia industri maupun dunia pendidikan. Salah satunya ialah robot SCARA (Selective Compliant Assembly Robot Arm). SCARA memiliki struktur yang terdiri dari tiga lengan dengan gerakan rotasi dan satu translasi. Robot ini ditunjukkan untuk dapat melakukan sistem pick and place dan kerja lain yang memerlukan ketelitian tinggi. Untuk bisa menghasilkan robot dengan pengontrolan yang murah, dikembangkan model menggunakan aplikasi pengontrol menggunakan GRBL dengan sistem antarmuka labView. Dengan sistem pengontrolan ini maka diperlukan sistem penggerak yang kompak dalam konstruksi dipilih motor stepper dengan model reduksi harmonik dengan torsi maximum sebesar 3,6652N. Harmonic Drive merupakan peralatan pereduksi putaran dengan rasio tinggi dan cocok diaplikasikan pada peralatan yang memerlukan presisi. Dimensi rancangan dibuat untuk melakukan pekerjaan pick and place dengan area kerja 600 x 300 mm. Panjang axis lengan pertama 170 mm dan lengan kedua sepanjang 160mm. Akurasi yang didapatkan dalam konstruksi ini adalah 1.3 mm. Dengan hasil tersebut pembuatan robot SCARA yang dikembangkan bisa diaplikasikan sebagai sistem pembelajaran pada instansi pendidikan dan pekerjaan yang memerlukan kepresisian pada industri.

Kata kunci: Robot SCARA, Harmonic Drive, Kode NC, GRBL

Abstract

Robot Arm technology has been widely used in industry and education. One of which is the SCARA (Selective Compliant Assembly Robot Arm) robot. SCARA has a structure consisting of three arms with rotational movement and one translational movement. This robot is intended to be able to carry out pick and place systems and other work that requires high precision. To be able to produce a robot with cheap control, a model was developed using a controller application using GRBL with the LabView interface system. with this control system, a compact drive system is required in the construction, a stepper motor with a harmonic reduction model is needed with a maximum torque of 3.6652N. Harmonic Drive is a rotation reducing device with a high ratio and is suitable for application in equipment that requires precision. The design dimensions are made to carry out pic and place work with a work area of 600 x 300 mm. the axis length of the first arm is 170 mm and the second arm is 160 mm long. The accuracy obtained in this construction is ±1.3 mm. With these results, the SCARA robot developed can be applied as a learning system in educational institutions and jobs that require precision in industry.

Keywords: SCARA Robot, Harmonic Drive, NC Code, GRBL

1. PENDAHULUAN

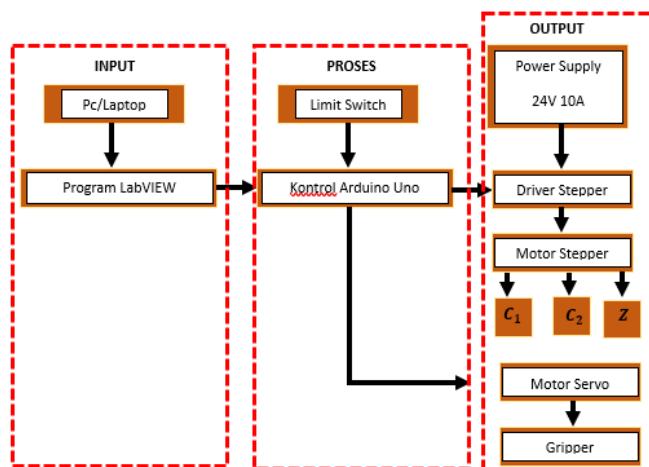
SCARA atau *Selective Compliant Articulated Robot Arm* adalah salah satu jenis robot lengan (*arm*) yang sering digunakan di bidang industri. Robot SCARA memiliki struktur yang terdiri dari tiga lengan dengan dua gerakan rotasi dan satu translasi (RRT). Kinematika SCARA yang sederhana membuat robot ini sangat cocok untuk melakukan tugas perakitan serta tugas proses pemindahan barang dari satu lokasi ke lokasi lainnya [1][2][3].

Teknologi Robot banyak menggunakan berbagai penggerak salah satunya motor stepper. Motor stepper juga memiliki torsi penahan yang memungkinkannya untuk menahan posisinya [4]. Gerakannya bersifat langkah demi langkah. Setiap perpindahan dari satu langkah ke langkah berikutnya membutuhkan waktu tertentu [5]. Dengan kemampuan operasi tersebut maka penggunaannya dapat ditambahkan mekanisme harmonic drive yang cocok untuk pembuatan sebuah robot. Mekanisme harmonic drive adalah sebuah peralatan pereduksi kecepatan dengan rasio tinggi yang kompak dan memiliki rasio berat terhadap torsi yang rendah. Karena karakteristik yang dimilikinya maka mekanisme tersebut banyak diaplikasikan pada peralatan yang memerlukan presisi [6]. Salah satu penggunaannya adalah pada robot industri yaitu sebagai bagian dari sistem penggerak lengan robot.

Kemudian penggunaan GRBL yang merupakan sebuah software yang digunakan untuk mengirimkan Nc.Code ke sebuah mesin CNC seperti 3D printer. Software ini memudahkan pengguna dalam proses pemrograman sebuah mesin CNC. Pengguna bisa memberikan perintah secara langsung atau pengguna juga bisa mengunggah satu file dalam bentuk notepad yang berisi kode – kode Nc.Code [7] yang didukung oleh LabVIEW sebagai media antarmuka untuk mengendalikan sistem gerak dari robot SCARA melalui fitur yang terdapat pada Softwarenya. Guna mempermudah dalam penggunaan robot SCARA tersebut dan pula dikoneksikan dengan Arduino menggunakan GRBL.

2. METODE PENELITIAN

Dalam Pembuatan prototipe robot SCARA dilaksanakan melalui serangkaian tahapan yang membantu dalam pembuatan robot. Pada penelitian ini, langkah analisis merupakan tahapan dalam pembuatan robot SCARA. Tahap kritis yang memungkinkan penyelidikan mendalam terhadap performa dan desain robot. Analisis dilakukan melalui studi literatur serta perbandingan dengan penelitian sebelumnya termasuk pengembangan robot, performa gerak dan presisi serta ketahanan. Dari hasil literatur tersebut didapatkan blok diagram yang akan digunakan untuk pembuatan robot SCARA berbasis GRBL seperti pada Gambar 1.

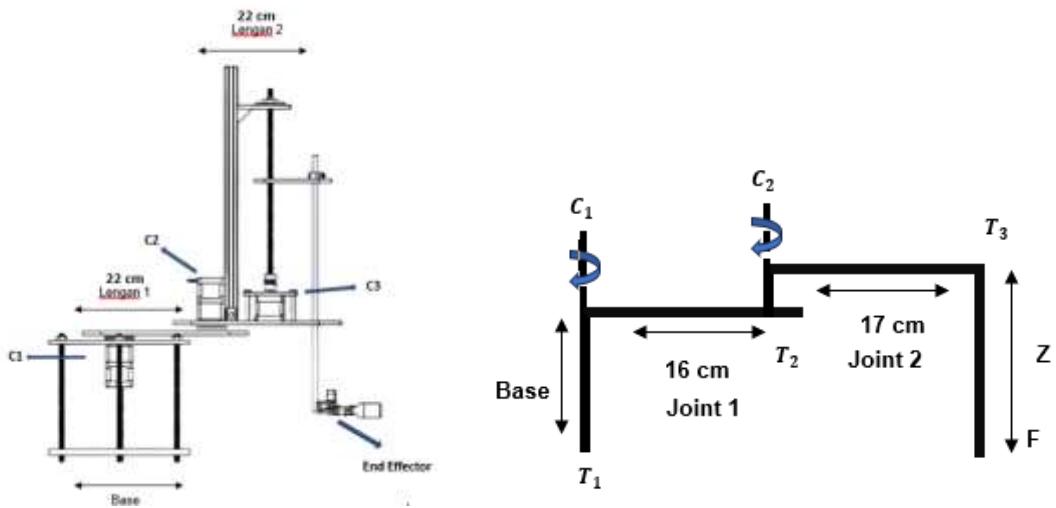


Gambar 1. Diagram Blok Perencanaan Pembuatan Alat

Gambar menunjukkan daftar komponen dan langkah-langkah proses kerja alat untuk mencapai konstruksi robot SCARA. Pemilihan aktuator dengan menggunakan motor stepper dipertimbangkan sesuai dengan beban kerja yang direncanakan dan presisi yang akan dicapai. Penggunaan controller Arduino Uno didukung oleh LabVIEW sebagai antarmuka karena memiliki kontrol yang mudah dipahami untuk pengoperasian yang lebih sederhana.

3. PERANCANGAN

Pemilihan desain robot SCARA dengan 3 DOF + 1 End Effector didasarkan pada keuntungan fleksibilitas dalam dimensi ruang. Desain ini memberikan keunggulan dalam area kerja yang lebih luas pada perancangan dan pembuatan. Robot SCARA ini ditetapkan area kerja robot tersebut sebanyak 180°. Karena dioptimalkan untuk mencakup rentang gerak yang relevan sesuai dengan tujuan penelitian [8] [9] seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Desain robot SCARA

Gambar 2 menunjukkan desain SCARA dengan 3 motor stepper Nema 17 dan 1 servo sebagai aktuator gripper. Motor dipasang dalam susunan membentuk struktur SCARA dengan tambahan *trus bearing* pada lengan robot untuk kekakuan dan akurasi pergerakan. Spesifikasi Motor Stepper Nema 17 yang dipilih ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Motor Stepper Nema 17

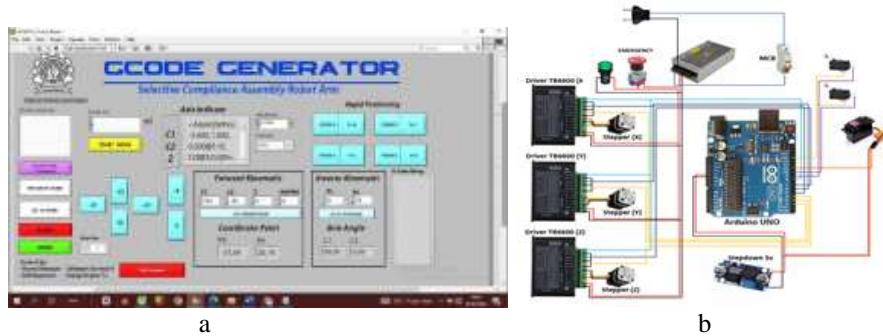
Step Angle	1,8
Holding Torque	0,44 Nm
Voltage	12 V
Arus	1,5 A

Sistem penggerak pada robot ini dioperasikan menggunakan GRBL. Sistem GRBL merupakan perangkat lunak yang telah dipakai untuk mengendalikan gerakan Mesin CNC seperti bubut atau Freis. GRBL controller digunakan untuk mengirimkan Nc.Code ke mesin CNC seperti 3D printer. Pengguna dapat memberikan perintah langsung atau mengunggah file dalam format teks yang berisi kode program.

Nc.Code. GRBL banyak dikembangkan oleh komunitas karena sistem tersebut menggunakan sistem *open source*. Sehingga GRBL sangat mudah digunakan karena dalam sistem tersebut terdapat banyak dukungan untuk pemula.

4. HASIL PERANCANGAN

Penelitian ini diwujudkan melalui perakitan dan pengembangan pada setiap elemen. Termasuk pembuatan antarmuka menggunakan LabView dan komponen lainnya. Keterhubungan yang tepat antara LabView, Arduino Uno, dan motor stepper adalah untuk mendukung kontrol presisi robot. Pengembangan ini tidak hanya efektif untuk pembelajaran, tetapi juga dapat diterapkan dalam konteks industri. Layout dari perancangan dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. a. Sistem antarmuka dan b. Wiring diagram

Gambar 5.a merupakan antarmuka G-code Generator sebagai antarmuka yang dibuat menggunakan LabVIEW dan disesuaikan dengan kebutuhan sistem robot. Sehingga memungkinkan pengendalian yang mudah untuk proses pemasangan. Gambar 5.b menunjukkan diagram pengkabelan koneksi antara motor stepper, Driver, Kontroler dan power supply. Gcode generator terhubung dengan GRBL melalui kontroler Arduino UNO.

Pengembangan perakitan robot SCARA melibatkan penggunaan motor stepper Harmonic Drive dan motor stepper Nema 17 yang terhubung ke rangka utama robot. Rangka utama ini terbuat dari plat alumunium setebal 6 mm rangka tersebut dibentuk menggunakan mesin milling freis, dibentuk mengikuti ukuran yang telah dirancang sebelumnya. Setelah itu, rangka plat alumunium dihubungkan ke motor stepper menggunakan *thrust bearing*. Penggunaan *thrust bearing* ini memastikan pergerakan robot yang lancar dan minim gesekan. Sehingga memungkinkan respon yang cepat dan akurat dari motor stepper. Selama proses ini, setiap komponen dipasang dengan hati-hati dengan memperhatikan setiap detail sehingga robot dapat berfungsi dengan baik dan memiliki pergerakan akurat. Hasil desain ini dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil Perakitan Robot SCARA

Pemilihan motor stepper yang digunakan pada setiap joint berdasarkan kemampuan yang dapat setiap joint topang bebananya yaitu berupa lengan ataupun benda yang diangkat. Kemampuan motor untuk berputar dengan suatu beban merupakan gaya putar yang disebut tosi (*torque*). Berat setiap lengan dapat dilihat pada kolom berat Tabel 2. Berat total setelah semua komponen dirakit adalah 6,7 Kg.

Tabel 2. Dimensi Berat Lengan Axis SCARA

No	Posisi Lengan	Dimensi Lengan	Berat
1	Base	22 x 22 cm	3,40 Kg
2	Lengan 1 (axis C1)	26 x 11,5 cm	2,20 Kg
3	Lengan 2 (axis C2)	26 x 11,5 cm	1,10Kg

Penentuan Torsi dan Gaya Angkat

Dalam pengaturan gerakan lengan robot, torsi memainkan peran penting yang tergantung pada jarak antara titik aplikasi gaya dan sumbu rotasi. Perubahan posisi gaya dapat menyebabkan variasi dalam torsi yang diperlukan untuk menggerakkan lengan robot [10]. Torsi Diperlukan untuk menghitung kebutuhan pemilihan motor.

Dalam rancangan ini, data berat axis 2 terdiri atas motor stepper serta komponen penggerak Axis Z dan C1 terdiri atas beban lengan C2 dan plat alumunium pada lengan C1 seperti dapat dilihat pada Tabel 3 posisi dan material.

Tabel 3. Komponen Material dan Posisi

Material	Posisi
Motor Stepper Nema 17 (Harmonic Drive)	Lengan C2
Nema 17 + Lead Screw	Lengan C2
Alumunium Profil + Bracket	Lengan C2
Plat alumunium	Lengan C2 dan C1
Gripper	Lengan C2

Dengan beban yang sudah ditentukan maka untuk mendapatkan nilai torsi berat beban konstruksi dihitung dengan persamaan (1) dan (2) berikut. Perhitungan gaya beban [11] dihitung dengan persamaan :

$$F = m \times g \quad (1)$$

Sedangkan perhitungan torsi menggunakan persamaan[11] :

$$T = F \times r \quad (2)$$

Perhitungan gaya beban dan torsi axis C2 dan C1 ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Perhitungan Gaya Berat dan Torsi C1 dan C2

Axis	Gaya Beban	Torsi
C2	$F=mxg$ $F=1,10 \times 9,8$ $F=10,78 \text{ N}$	$T= F \times r$ $T=10,78 \times 0,16$ $T=1,7248 \text{ Nm}$
C1	$F=mxg$ $F=2,20 \times 9,8$ $F=21,56 \text{ N}$	$T= F \times r$ $T=21,56 \times 0,17$ $T=3,6652 \text{ Nm}$

Kebutuhan torsi pada axis C1 dan C2 ditampilkan pada Tabel 4. Motor penggerak yang dipakai untuk pergerakan rotasi menggunakan *Harmonic Drive* dengan perbandingan reduksi 30:1. Torsi yang dihasilkan oleh motor stepper NEMA 17 seperti yang tertera di Tabel 1 yaitu 0,44 Nm. Setelah melalui proses pengurangan rasio gigi dan dikalikan dengan efisiensi gesekan sebesar 0,9 maka torsi keluaran motor menjadi $0,44 \times 30 \times 0,9$ sehingga menghasilkan torsi keluaran sebesar 11,88 Nm.

Kemudian Axis Z digunakan untuk mengangkat beban ke atas dengan menggunakan leadscrew dan poros yang bergerak translasi. Untuk menentukan torsi spesifikasi motor stepper dibutuhkan perhitungan torsi. Perhitungan ini dilakukan menggunakan persamaan yang dirangkum pada Tabel 5.

Tabel 5. Perhitungan Torsi Axis Z

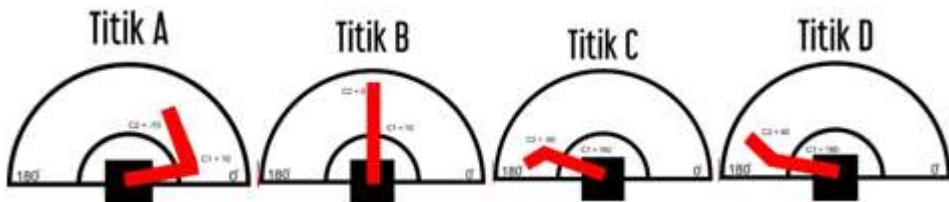
Jenis Perhitungan	Persamaan	Perhitungan
Menghitung sudut lead screw	$\theta = \tan^{-1} \frac{w}{2\pi r}$	(3) $\theta = \tan^{-1} \frac{1}{\pi(4)} = 51,86$
Nilai Koefisien gesek (alumunium & perunggu)	$\varphi = \tan^{-1}(0,45)$	(4) $\varphi = \tan^{-1}(0,45) = 24,227$
Mencari nilai F	$\frac{w}{F} = \tan^{-1}(\theta - \varphi)$ $F = \frac{w}{\tan^{-1}(\theta - \varphi)}$	(5) $F = \frac{1}{\tan^{-1}(51,86 - 24,227)} = 0,0112 \text{ N}$
Mencari Torsi	$T_z = F \times r$	(6) $T_z = 0,0112 \times 4 = 0,0448 \text{ Nm}$

Motor Stepper pada Axis Z menggunakan Motor Stepper Nema 17 tanpa tambahan Mekanisme *Harmonic Drive*. Sehingga torsi motor pengangkat yang dibutuhkan dengan menerapkan efisiensi 85% adalah dengan torsi beban pada motor 0,056:Nm. Motor yang dipilih ditampilkan pada Tabel 1 yaitu Motor Nema 17 bahwa torsi motor yang disediakan adalah 0,44 Nm.

5. DISKUSI DAN EVALUASI

Sebelum melakukan pengujian dilakukan penyesuaian parameter setting GRBL yaitu \$100,\$101 dengan nilai 66,6675. (steps/rev)

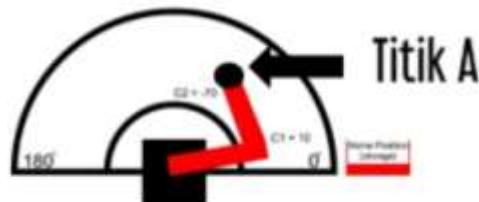
Dari hasil pembuatan dilakukan evaluasi keandalan pergerakan robot berupa akurasi pemosisian, kecepatan dan percepatan yang baik. Pengujian Pemosisian Lengan Robot bertujuan mengidentifikasi akurasi posisi lengan 1 dan lengan 2 terhadap lokasi yang direncanakan. Dalam evaluasi ini digunakan *Dial Gauge* sebagai alat ukur. Dan ini juga diamati pengaruh parameter nilai parameter seperti feedrate, akselerasi, dan nilai axis travel resolution. Parameter-parameter tersebut divariasikan dalam beberapa percobaan dan nilai terbaiknya. Selanjutnya diatur pada GRBL terdapat 4 lokasi posisi yang ditentukan yaitu A, B, C, dan D seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Posisi Pergerakan Robot SCARA

Pengujian dilakukan pada 2 posisi. Posisi terdekat terhadap titik nol dan posisi terjauh terhadap titik nol. Yaitu Posisi A dengan koordinat (X= 18.71, Y= 19.52) dan Posisi D dengan koordinat (X=-28.33, Y= 4,47). Hasil pengujian dapat dilihat Tabel 6 dan Tabel 7. Setiap posisi dilakukan 5 kali pengujian dengan memvariasikan Feedrate dan Akselerasi.

1. Posisi A



Jog	Perintah Gcode
Posisi A	G90 Z100 M3 S900 G4 P0.7Z0 G4 P0.5 X10 Y-70 Z100 G4 P0.3 M3 S100G4 P0.7Z0 X0 Y0

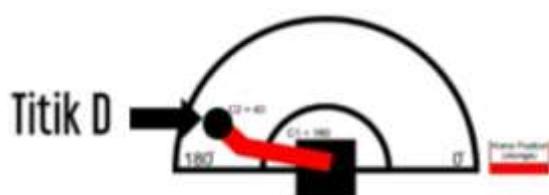
Tabel 6.a. Pengujian Posisi A dengan Nilai F=1000 dan a = 50

No	Nilai Parameter Axis (step/mm)	Feedrate (derajat/min)	Akselerasi (mm/sec ²)	Sudut Awal	Posisi akhir yang ditentukan	Kesalahan (mm)
1	66,6675	1000	\$120, \$121	0.00	Posisi A	2,40
	66,6675	1000		0.00	Posisi A	2,94
	66,6675	1000		0.00	Posisi A	3, 50
	66,6675	1000		0.00	Posisi A	3,65
	66,6675	1000		0.00	Posisi A	3,78
Rata – Rata Kesalahan						3,25

Tabel 6.b. Pengujian Posisi A dengan Nilai F = 200 dan a = 25

No	Nilai Parameter Axis (step/mm)	Feedrate (derajat/min)	Akselerasi (derajat /sec ²)	Sudut Awal	Posisi akhir yang ditentukan	Kesalahan (mm)
1	66,6675	200	\$120, \$121	0.00	Posisi A	1,80
	66,6675	200		0.00	Posisi A	1,90
	66,6675	200		0.00	Posisi A	1,90
	66,6675	200		0.00	Posisi A	1,95
	66,6675	200		0.00	Posisi A	2,00
Rata – Rata Kesalahan						1,91

2. Posisi D



Jog	Perintah Gcode
Posisi B	G90 Z100 M3 S900 G4 P0.7Z0 G4 P0.5 X10 Y-70 Z100 G4 P0.3 M3 S100G4 P0.7Z0 X0 Y0

Tabel 7.a. Pengujian Posisi D dengan Nilai F=1000 dan a= 50

No	Nilai Parameter Axis (step/mm)	Feedrate (derajat/min)	Akselerasi (derajat /sec ²)	Sudut Awal	Posisi akhir yang ditentukan	Kesalahan (mm)
1	66,6675	1000	\$120, \$121	0.00	Posisi D	1,90
	66,6675	1000		0.00	Posisi D	2,30
	66,6675	1000		0.00	Posisi D	3, 37
	66,6675	1000		0.00	Posisi D	3,67
	66,6675	1000		0.00	Posisi D	3,90
Rata – Rata Kesalahan						3,02

Tabel 7.b. Pengujian Posisi D dengan Nilai F = 200 dan a = 25

No	Nilai Parameter Axis (step/mm)	Feedrate (derajat/min)	Akselerasi (derajat /sec ²)	Sudut Awal	Posisi akhir yang ditentukan	Kesalahan (mm)
1	66,6675	200	\$120, \$121	0.00	Posisi D	1.40
	66,6675	200		0.00	Posisi D	2,25
	66,6675	200		0.00	Posisi D	2,65
	66,6675	200		0.00	Posisi D	3,47
	66,6675	200		0.00	Posisi D	3,64
Rata – Rata Kesalahan						2,69

Pengujian pertama dilakukan dengan *Feedrate* 17.453 rad/min dan akselerasi 0,872 rad/sec² didapatkan kesalahan pada posisi A dengan rata- rata 3,25mm dan pada posisi D dengan rata-rata 3,02 mm pada arah X. Dari pengamatan di perkirakan kecepatan motor terlalu tinggi dan memungkinkan terjadi slip pada stepper motor.

Percobaan kedua dilakukan dengan menurunkan *Feedrate* dan *Akselerasi* seperti pada Tabel 6.b dan Tabel 7.b dengan kesalahan pemosisan rata-rata 1.92 dan 2,69 mm. Akurasi pemosisan ini hampir cenderung konstan. Sehingga dapat dikatakan bahwa akurasi robot ini pada nilai kartesian 1.3 mm mm

6. KESIMPULAN

- Berdasarkan hasil pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan
1. Perancangan robot SCARA yang dibuat dapat bekerja dengan total jangkauan 330 mm
 2. Motor penggerak pada robot SCARA menggunakan jenis motor stepper nema 17 dengan mekanisme reduksi Harmonic Drive dengan ratio gear sebesar 30:1 mampu menggerakan lengan dengan cukup stabil.
 3. Hasil perhitungan torsi yang digunakan pada robot SCARA ini masih dapat ditumpu dengan aman oleh motor stepper yang digunakan
 4. Penggunaan GRBL sebagai pengontrol SCARA Robot berhasil dilakukan untuk model yang dirancang dengan penyesuaian parameter akselerasi. Perintah pergerakan dengan Kode G dilakukan dengan melakukan setting *Feedrate* yang sesuai untuk setiap lengan.
 5. Akurasi pergerakan berhasil dicapai dengan menggunakan mekanisme harmonic drive sebagai pereduksi putaran yang hamper cenderung konstan dengan nilai kartesian ± 1.3 mm dari hasil pengujian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Fahmizal, "Desain dan Simulasi Robot SCARA," otomasi.sv.ugm.ac.id.

- [2] Misel, "Posted on January 19, 2021 by Misel Apa Itu SCARA Robot dan Aplikasinya di Dunia Industri," *MiSEL*, 2021. <https://misel.co.id/apa-itu- SCARA-robot-dan-aplikasinya-di-dunia-industri/>.
- [3] S. Ardhi, A. Syahiidutama, J. P. Sugiono, and H. Sutiksno, "Implementasi Kinematika Robot Lengan Pemindah Barang Dua Sendi (2 DOF) dengan Metode Kinematika Maju Untuk Menentukan Koordinat dalam Pemindahan Sebuah Object," *J. Inf. Syst. Hosp. Technol.*, vol. 2, no. 01, pp. 35–42, 2020, doi: 10.37823/insight.v2i01.75.
- [4] D. Sebagai, S. Satu, S. Untuk, F. T. Industri, and U. B. Hatta, "PERANCANGAN ALAT KONTROL ROBOT SCARA," 2023.
- [5] Jamaaluddin, I. Robandi, I. Anshory, Mahfudz, and R. Rahim, "Application of interval type-2 fuzzy inference system and big bang big crunch algorithm in short term load forecasting new year holiday," *J. Adv. Res. Dyn. Control Syst.*, vol. 12, no. 2, pp. 216–226, 2020, doi: 10.5373/JARDCS/V12I2/S202010024.
- [6] B. D. W, "Analisa Respon Dinamis Sistem Harmonic Drive Mechanism," pp. 73–79, 2007.
- [7] B. A. B. Ii and D. Teori, "Teguh Pudji Purwanto 2011" pp. 4–23, 2011.
- [8] I. Sulaeman, A. W. Dani, and T. Pangaribowo, "Analisa Inverse Kinematics Pada Prototype 3-DoF Arm Robot Dengan Metode Anfis," *J. Teknol. Elektro*, vol. 13, no. 1, p. 14, 2022, doi: 10.22441/jte.2022.v13i1.003.
- [9] A. Uchrowi, L. Lasmadi, and S. Soekarno, "Pemodelan dan Simulasi Robot Lengan 3 DOF Menggunakan V-REP," *Avitec*, vol. 1, no. 1, pp. 87–98, 2019, doi: 10.28989/avitec.v1i1.489.
- [10] N. A. Siddiq, "Torsi dalam Fisika: Memahami Gaya Putar dan Rotasi," *Warung Sains Teknologi*, 2024. <https://warstek.com/torsi/>.
- [11] N. A. Siddiq, "Torsi dalam Fisika: Memahami Gaya Putar dan Rotasi," 17 Februari, 2024. <https://warstek.com/torsi/>.