

ANALISA PERANCANGAN DAN SISTEM ELEKTRONIKA SCARA ROBOT BERBASIS GRBL

¹Bunga Regina Tasya Laksana, ²Afzeri dan ³Nanang Roni Wibowo

^{1,2,3}Teknologi Rekayasa Mekanika, Politeknik Enjineri Indorama, Purwakarta, Indonesia
co-author: ¹bunga.regg@gmail.com

Abstrak

Perkembangan teknologi yang semakin canggih dan pertumbuhan industri yang sangat signifikan, khususnya pada teknologi robotika. Robot telah menggantikan peralatan-peralatan manual yang membutuhkan tenaga manusia, salah satunya yaitu SCARA robot. SCARA robot atau (Selective Compliance Assembly Robot Arm) merupakan jenis arm robot yang sudah banyak digunakan di industri dan dirancang dengan kemampuan pengulangan, akurasi, presisi tinggi dan kecepatan relatif tinggi yang dapat memudahkan dalam proses industri khususnya dalam ruang lingkup manufaktur material handling seperti assembly, packaging, dan pick and place. Pada penelitian ini, dirancang sebuah SCARA robot pemindah barang dengan 3 DoF (Degree of Freedom) menggunakan Arduino Uno dengan sistem berbasis GRBL sebagai mikrokontroler untuk mengontrol pergerakan robot. Motor stepper dengan reduksi harmonic drive sebagai aktuator operasi pergerakan presisi robot sesuai kontrol GRBL dan labview. Metode eksperimental digunakan untuk menguji kinerja setiap komponen dan distribusi listrik pada SCARA robot. Driver TB6600 digunakan sebagai penggerak dan pengendali sinyal dari mikrokontroler motor. Pada hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem ini mampu mengontrol pergerakan robot dengan baik sesuai dengan akurasi yang baik. Distribusi listrik yang optimal serta konsumsi daya yang sesuai untuk kebutuhan komponen yang telah diukur. Pada penelitian ini bertujuan untuk memberikan kontribusi dalam bidang kelistrikan pada sistem pick and place SCARA robot 3 dof berbasis GRBL. Hasil perhitungan dan analisis diperoleh 46,525 watt untuk beban 50 gram dan 48,676 watt beban 500 gram. Dengan demikian, analisis kelistrikan dalam sistem ini dapat dinyatakan bahwa sistem dapat bekerja sesuai dengan yang diharapkan dengan kebutuhan daya yang tercukupi.

Kata kunci: SCARA robot, Harmonic Drive, Motor Stepper, Arduino Uno

Abstract

The development of increasingly sophisticated technology and industrial growth is very significant, especially in robotics technology. Robots have replaced manual equipment that requires human labor, one of which is the SCARA robot. SCARA robot or (Selective Compliance Assembly Robot Arm) is a type of robot arm that has been widely used in industry and is designed with repeatability, accuracy, high precision and relatively high speed which can facilitate industrial processes, especially in material handling manufacturing environments such as assembly, packaging, and pick and place. In this research, a SCARA robot with 3 DoF (Degree of Freedom) is designed using Arduino Uno with a GRBL-based system as a microcontroller to control robot movement. Stepper motor with harmonic drive reduction as the actuator of the robot's precision movement operation according to GRBL and Labview control. Experimental method is used to test the performance of each component and electrical distribution on SCARA robot. The TB6600 driver is used as a signal processing driver from the motor microcontroller. The results show that the system is able to control the movement of the robot well with good accuracy. Optimal electricity distribution and power consumption are appropriate for the needs of the components that have been measured. This research aims to contribute to the electrical field in the pick and place system of GRBL-based 3 dof SCARA robot. The results of the calculation and analysis obtained 46.525 watts for a load of 50 grams and 48.676 watts for a load of 500 grams. Thus, the electrical analysis in this system can be stated that the system can work as expected with sufficient power requirements.

Keywords: SCARA Robot, Harmonic Drive, Stepper Motor, Arduino Uno

Makalah dikirim 5 Februari 2024; Revisi 10 Maret 2024, Diterima 12 April 2024

1. PENDAHULUAN

Dalam dunia industri khususnya manufaktur, robot berperan dalam menggantikan fungsi yang selama ini dilakukan oleh manusia untuk pekerjaan yang berulang atau repetitif yang membutuhkan presisi tinggi, akurasi, dan kecepatan yang relatif tinggi terutama untuk melakukan pemindahan suatu barang, memposisikan benda dan proses lainnya. Dari penjelasan tersebut, maka munculah gagasan, ide, dan inovasi untuk merancang sebuah prototype SCARA robot dengan sistem *pick and place* berbasis GRBL dengan menggunakan motor *stepper harmonic drive* sebagai aktuator dan arduino uno sebagai mikrokontroler pengontrol gerak robot.

SCARA robot ini merupakan sebuah robot manipulator dengan empat derajat kebebasan dan terdiri dari empat bagian manipulator yaitu *base*, lengan *shoulder*, lengan *elbow* dan *end-effector* dengan area kerja dalam ruang *cartesian* x-y, ketinggian yang sesuai pada sumbu z, dan sensitivitas untuk kecepatan beban, posisi, dan akurasi kontrol menggunakan GRBL [1]. Dalam pengaplikasiannya di dunia industri, robot SCARA merupakan robot yang unggul dalam operasi pengambilan dan penempatan yang memerlukan kepresisian, kecepatan, dan gerakan yang halus. Robot SCARA memiliki ruang kerja yang terbatas yang ditentukan oleh panjang lengan, jumlah sendi, dan konfigurasi mekanisnya yang tentu hal itu membatasi ukuran operasi yang dapat ditangani dan fleksibilitas dalam hal orientasi untuk melakukan suatu tugas. Dengan ruang kerja yang terbatas pada robot SCARA, dapat mempengaruhi derajat kebebasan *Degree of Freedom* (DoF) nya yang dimana derajat kebebasan merupakan penghubung lengan robot yang dapat berputar dan bergeser serta dapat digunakan untuk mengetahui jumlah motor pada lengan robot dan tingkat kerumitan algoritmanya [2].

Dalam penanganan materialnya, terutama dalam sistem *pick and place* diperlukan fungsionalitas dan kinerja yang optimal untuk mengatur pergerakan robot, memastikan tingkat kepresisian, kecepatan, dan koordinasi yang akurat. Oleh karena itu, dibutuhkan sebuah sistem kendali yang efektif [3] yang mencakup kinematika, kontroler, dan GRBL. Kinematika robot yang diterapkan yaitu kinematika maju dan kinematika mundur. Arduino Uno sebagai mikrokontroler yang berfungsi untuk menggerakkan dan mengontrol pergerakan aktuator motor *stepper nema 17 harmonic drive* dan *motor servo* serta penggunaan *software* GRBL dan *LabView* sebagai *user interface* untuk mengendalikan sistem gerak secara robot melalui fitur nya yang dikoneksikan dengan arduino Uno menggunakan GRBL.

2. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian robot scara ini, terdapat perancangan *hardware* yang dimana *hardware* yang digunakan pada penelitian ini memiliki komponen utama arduino sebagai kontroler dan terdiri dari 2 motor *stepper harmonic drive*, 1 *motor setpper* nema 17 dengan fungsi yang berbeda.

1. Arduino Uno

Arduino uno adalah papan pengembang (*development board*) mikrokontroler yang berbasis chip Atmega328 yang berfungsi sebagai arena *prototyping* sirkuit mikrokontroler. *Board* ini memiliki 14 digital *input/output pin* yang dimana (*pin* dapat digunakan sebagai *output* PWM). 6 input analog, 16 MHz osilator kristal, koneksi USB, jack listrik, header ICSP dan tombol *reset*. *Pin-pin* ini berisi semua yang diperlukan untuk mendukung mikrokontroler. Cukup dengan menghubungkannya ke komputer dengan kabel USB atau diberi *power* dengan adaptor AC-DC atau baterai, arduino sudah dapat beroperasi dengan baik.

Adapun *Datasheet* yang terdapat pada Arduino Uno sebagai berikut :

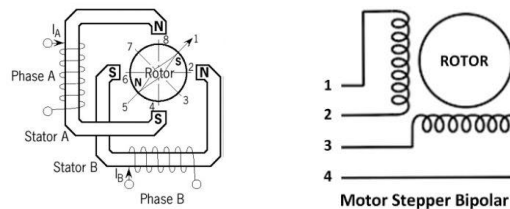
- 1). Mikrokontroler : Atmega328
- 2). Tegangan Operasi : 5V
- 3). Tegangan *Input* (recommended) : 7-12 V
- 4). Tegangan *Input* (limit) : 6-20 V
- 5). *Pin* digital I/O : 14 (6 pin PWM)
- 6). *Pin* analog *input* : 6 *pin input*
- 7). Arus DC per *pin* i/O ; 40 mA
- 8). Arus DC untuk *pin* 3.3 V : 150 mA

9. *Flash memory* : 32 KB dengan 0.5 KB digunakan sebagai *bootloader*
- 10). SRAM : 2 KB
- 11). EEPROM : 1 KB
- 12). Kecepatan besaran waktu sebesar 16 MHz

2. *Motor Stepper Harmonic Drive*

Motor stepper adalah perangkat elektronik yang bekerja dengan mengubah pulsa elektronik menjadi gerakan diskrit. *Motor stepper* bergerak berdasarkan urutan–urutan pulsa digital yang diberikan kepada motor. Deretan pulsa diterjemahkan menjadi putaran shaft, dimana setiap putaran membutuhkan jumlah pulsa yang ditentukan. Satu pulsa menghasilkan satu kenaikan putaran atau *step* yang merupakan bagian dari satu putaran penuh. Oleh karena itu, perhitungan jumlah pulsa dapat diterapkan untuk mendapatkan jumlah putaran pulsa yang diinginkan. Perhitungan pulsa secara otomatis menunjukkan besarnya putaran yang telah dilakukan, tanpa memerlukan *feedback*.

Pada perancangan *robot scara* ini, *motor stepper* yang digunakan yaitu *motor stepper harmonic drive nema 17*, yang dimana jenis *motor stepper* yang menggunakan mekanisme *harmonic drive* untuk mengubah gerakan rotasional menjadi gerakan linear atau sebaliknya. Mekanisme *harmonic drive* umumnya terdiri dari tiga komponen utama yaitu, cincin luar, cincin dalam, dan gelombang fleksibel. Ini menciptakan perbandingan perpindahan yang tinggi dengan ukuran fisik yang relatif kecil, memungkinkan presisi tinggi dan torsi yang besar.



Gambar 1. Kontruksi Motor Stepper Bipolar.

Adapun spesifikasi motor yang diguakan sebagai berikut :

- 1). *Current / Phase* : 1.5 A
- 2). *Step Angle(Degree)* : 0.06 Degree
- 3). *Phase* : 2
- 4). *Type* : Hybrid
- 5). *Model Number* : X17-22-30A
- 6). *Gear ratio* : 30:1

Motor stepper yang digunakan tipe Hybrid dengan rangkaian metode pengendalian jenis bipolar (Gambar 1). *Motor stepper tipe hybrid* memiliki gigi-gigi seperti motor tipe VR dan juga memiliki magnet permanen yang tersusun secara aksial pada batang porosnya seperti motor tipe PM. *Motor tipe hybrid* memiliki kinerja yang baik dan dapat menghasilkan resolusi langkah yang tinggi yaitu antara $3,6^{\circ}$ hingga $0,9^{\circ}$ per langkah atau 100-400 langkah setiap putarannya. Untuk *motor stepper* dengan lilitan bipolar, diperlukan sinyal pulsa yang berubah-ubah dari positif ke negatif dan sebaliknya. Maka pada setiap lilitan (A&B) harus dihubungkan dengan sinyal yang mengayun dari positif ke negatif dan sebaliknya. *Motor stepper* bipolar memiliki keunggulan torsi yang lebih besar dengan ukuran yang sama dibandingkan dengan *motor stepper unipolar*.

3. *Motor Servo MG996r*

Motor servo MG966r adalah sebuah aktuator putar (motor) yang dirancang dengan sistem kontrol umpan balik *loop* tertutup (*closed loop*), sehingga dapat diatur untuk menentukan dan memastikan posisi sudut dari poros *output* motor.

Prinsip kerja *motor servo* adalah dengan memberi masukan sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM) atau sinyal modulasi lebar pulsa. Besar kecilnya pulsa yang diberikan akan berpengaruh pada besar jarak putaran pada motor servo. Contohnya jika kita memberikan *pulse* selama 1,5 ms maka motor akan berputar sebesar 90°. Begitu pula jika kita memberikan *pulse* selama 2 ms, maka motor akan berputar sebesar 180°.

Adapun spesifikasi motor yang digunakan sebagai berikut :

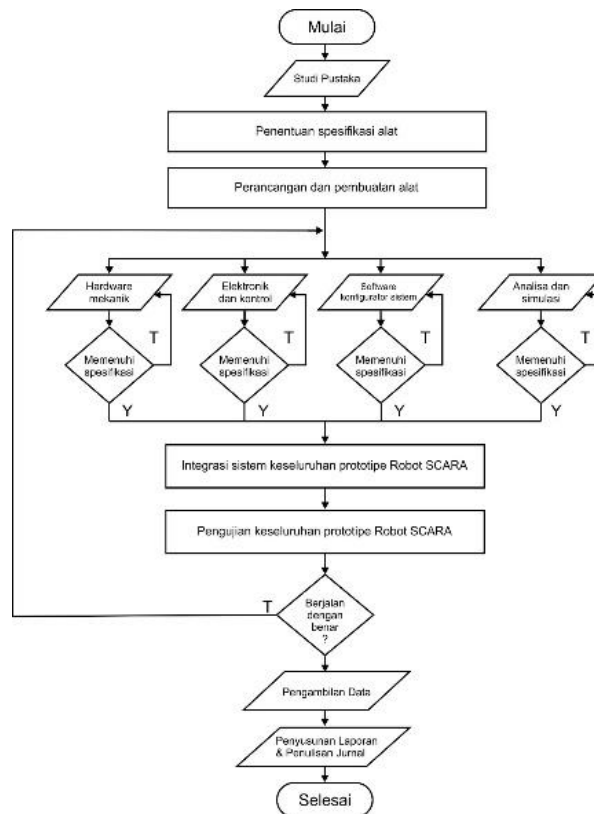
- 1). Torsi : 9.4 kgf/cm (4.8 V) dan 11 kgf/cm (6V)
- 2). *Operating speed* : 0.17 s/60° (4.8 V) dan 0.14 s/60° (6V)
- 3). *Pulse cycle* : 1 ms
- 4). *Stall current* : 2.5 A

4. Limit Switch

Limit switch adalah komponen elektronik yang digunakan untuk mendeteksi batasan pergerakan pada lengan robot. Fungsinya adalah untuk memberikan batasan fisik yang jelas bagi pergerakan robot, sehingga mencegahnya untuk bergerak diluar batas yang telah ditentukan untuk memastikan operasi yang aman, terkendali, dan efisien.

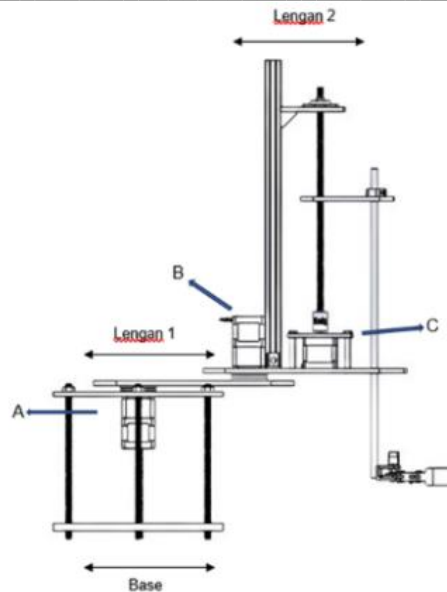
3. PERANCANGAN

Pada penelitian untuk membuat serta membangun sistem pada *prototype* Robot SCARA berbasis GRBL dan *Labview*, perancangan dan pembuatan alat dilakukan secara *experimental*. Adapun tahapan perancangan dan pembuatan alat mengikuti diagram alir penelitian pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir perancangan.

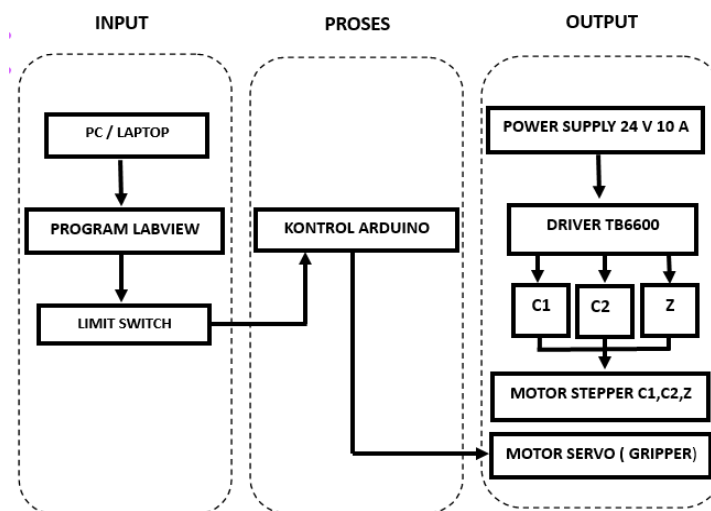
Pada perancangan ini menunjukkan bagaimana desain *prototype* SCARA robot secara keseluruhan.



Gambar 3. Desain SCARA robot.

Gambar 3 menunjukkan desain *prototype* SCARA robot, yang dimana struktur joint bentuk desain pada lengan SCARA robot memiliki 3 DoF yaitu *base*, *shoulder*, *elbow* dan *end-effector*. Pada bagian lengan terdapat 3 *motor stepper* yang berfungsi untuk mengendalikan gerakannya pada setiap *joint*-nya dan 1 *motor servo* untuk *end-effector*.

Dalam penelitian ini, dirancang sebuah *prototype* SCARA robot berbasis GRBL dan LabView dengan sistem *pick and place* yang bekerja memindahkan sebuah berupa balok. Sistem dirancang menggunakan arduino uno sebagai mikrokontroler, dan menggunakan 2 aktuator motor stepper dengan sistem reduksi *harmonic drive* yang berfungsi untuk menggerakkan bagian *base*, lengan *elbow*, dan 1 motor stepper nema 17 untuk menggerakkan lengan *shoulder* serta penggunaan 1 *motor servo* pada *end-effector*. Dengan memanfaatkan *library* GRBL dan aplikasi *user interface* melalui *software* LabView untuk membuat sebuah perintah *GCode* dan *jog* kontrol dengan sistem kontrol *open loop*. Gambar 4 terdapat blok diagram sistem yang dibagi menjadi 3 blok, yaitu blok *input*, blok *proses*, dan blok *output*.



Gambar 4. Diagram blok sistem.

Berdasarkan diagram blok pada Gambar 5, didapatkan fungsinya masing-masing :

1. Blok *Input*
 - a). Program *Labview*, berfungsi sebagai antarmuka pengguna dengan robot untuk memberikan perintah bergerak dan berhenti pada robot.
2. Blok *Proses*
 - a). *Arduino Uno* dan *GRBL*, berfungsi sebagai kontroler utama dan akan menerima perintah *GCode* dari *Labview* untuk menggerakkan aktuator pada robot
3. Blok *Output*
 - a). *Driver Motor Stepper*, berfungsi sebagai pengendali arus dan pengatur mikrostep pada motor
 - b). 3 *Motor Stepper*, berfungsi sebagai sebagai penggerak utama pada robot scara. Gerakan *motor stepper* disesuaikan dengan perintah atau kendali melalui kontrol *arduino uno* dan *LabView*
 - c). *Motor Servo*, berfungsi sebagai end-effector robot.

Tabel 1. Pinout GRBL arduino uno.

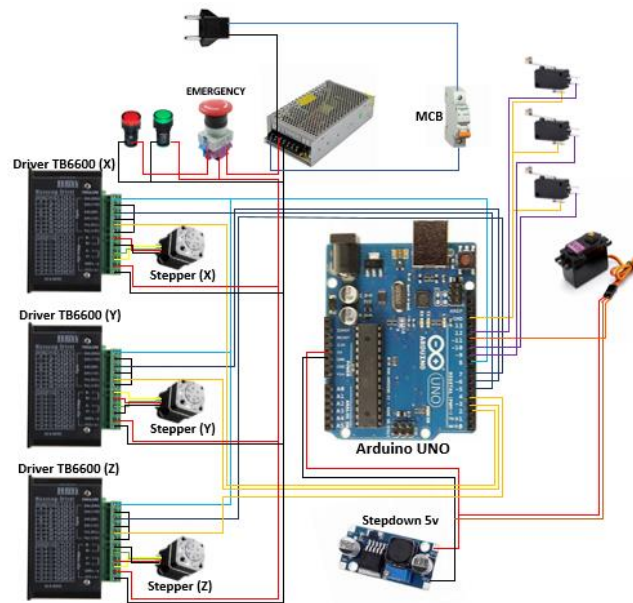
Pin	Fungsi
2	Pengirim sinyal step pulse X-axis
3	Pengirim sinyal step pulse Y-axis
4	Pengirim sinyal step pulse Z-axis
5	Pengirim sinyal dir pulse X-axis
6	Pengirim sinyal dir pulse Y-axis
7	Pengirim sinyal dir pulse Z-axis
9	Limit X-Axis
10	Limit Y-Axis
11	End-effector gripper motor servo
12	Limit Z-Axis
5 V	Tegangan Kerja
GND	GND

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada hasil perancangan *prototype* SCARA robot berbasis *GRBL* dan *LabView* ini, didapatkan hasil perancangan mekanik seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil perancangan alat.



Gambar 6. Wiring keseluruhan.

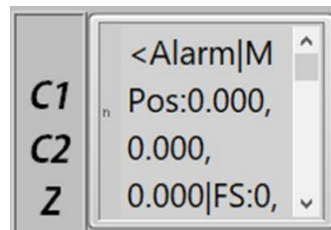
Gambar 6 menunjukkan perancangan keseluruhan sistem elektronik dengan penggunaan beberapa komponen yang terdiri dari *power supply* 24 V 10 A, *driver* TB6600, *motor stepper harmonic drive*, *motor stepper nema 17*, *arduino uno*, *module step down*, *MCB*, *tombol emergency stop*, *lampu indikator hijau*, dan *lampu indikator merah* yang dibangun dalam panel listrik dengan dimensi 40 x 60 cm seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Aktualisasi wiring.

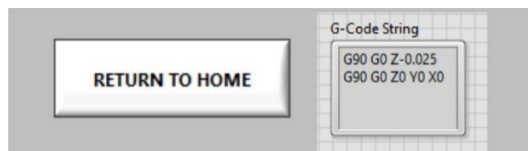
Pada perancangan SCARA robot pemindah barang berbasis GRBL ini, menggunakan beberapa komponen elektronik yang memerlukan *supply* tegangan dan daya yang sesuai. Dengan itu, SCARA robot ini menggunakan *power supply* 24Volt 10 Ampere, mikrokontroler *arduino uno*, 2 *motor stepper harmonic drive*, 1 *motor stepper nema 17*, dan *motor servo*. Adapun penggunaan *limit switch* pada setiap *axis* lengan robot untuk batas akhir gerak setiap lengan robot. *Home position limit switch* pada robot SCARA yang berbasis GRBL dan dikendalikan oleh *LabView* ditempatkan pada posisi yang ditentukan untuk memberikan referensi atau titik awal yang tetap bagi robot. Saat *limit switch* aktif atau mendeteksi adanya masukan dari lengan robot dan menyentuh *limit switch* dapat dilihat tampilan pada program *Labview* pada Gambar 8 maka robot akan berhenti dan sistem perangkat lunak akan terkunci sehingga perintah kontrol tidak

bisa dilakukan. Sistem yang terkunci akan terbuka ketika *jog alarm* yang tersedia pada perangkat lunak *LabView* ditekan yang kemudian dapat mengirimkan perintah pada robot untuk kembali. Namun perintah untuk kembali pada titik home lebih dianjurkan untuk melakukan suatu tindakan atau pergerakan yang lainnya.



Gambar 8. Tampilan pada LabView ketika lengan robot menyentuh limit switch.

Adapun perintah *set to home* dan *return to home* yang digunakan untuk menetapkan dan mengatur posisi saat ini sebagai titik nol, ini berlaku untuk lengan C1, C2 dan Z-axis pada robot untuk mengembalikan posisi lengan ke posisi awal atau titik nol yang telah ditentukan setelah menyelesaikan suatu tugas atau program. Gambar 9 menunjukkan tampilan pada program *LabView* ketika posisi lengan robot kembali ke titik awal atau titik nol.



Gambar 9. Tampilan pada program LabView ketika posisi robot kembali ke titik nol.

4.1 Pengujian

Pengujian merupakan proses pengekseskuan alat. Pengujian dilakukan dengan melakukan percobaan untuk mengumpulkan data yang bertujuan untuk memahami proses kerja dan fungsi alat secara menyeluruh. Pengujian dilakukan dengan mengambil data dari setiap percobaan untuk mengevaluasi kinerja dan melihat kekurangan dalam sistem. Hasil dari setiap pengujian tersebut kemudian dianalisis untuk mendapatkan pemahaman yang lebih baik.

4.1.1 Pengujian Motor Stepper

Pengujian motor stepper dilakukan dengan menggerakkan motor dan mengukur nilai tegangan dan arus dengan menggunakan multimeter. Nilai yang didapatkan kemudian dibandingkan dengan nilai daya yang dihasilkan dari hasil konversi torsi.

Tabel 2. Pengujian motor stepper.

Sumber	(V)	(I)	(W)	Nilai Konversi Daya	Error
Motor Stepper C1	23,48 V	0,98 A	23,01 W	23,01 W	0 %
Motor Stepper C2	23,21 V	0,46 A	10,67 W	10,8 W	-1,2 %
Motor Stepper Z	23,07 V	0,012 A	0,276 W	0,28 W	-1,4 %

Tabel 2 menunjukkan data hasil perbandingan nilai daya pada *motor stepper* berdasarkan perhitungan aktual dan konversi torsi yang menghasilkan nilai *error* dibawah 1,5%. Tanda (-) menyatakan bahwa daya yang terukur lebih rendah dibanding dengan nilai daya hasil konversi.

4.1.2 Pengujian Motor Servo

Pada motor servo MG996R mampu bekerja dalam tegangan 5V dan memiliki batas maksimum torsi 13 kg/cm atau setara dengan 1,27 Nm. Yang dimana torsi ini menunjukkan seberapa besar gaya putar yang dapat dihasilkan oleh motor servo saat beroperasi. Pengujian motor servo dilakukan dengan membandingkan nilai daya yang dihasilkan dari pengukuran arus dan tegangan menggunakan multimeter yang dihitung secara matematis dengan nilai daya dari hasil konversi torsi.

Tabel 3. Pengujian motor servo MG996R.

Berat Beban	Torsi	(V)	(I)	(W)	Konversi Nilai Daya	Error
0,05 kg	0,0441 Nm	4,6 V	0,052 A	0,239 W	0,236 W	-1,2 %
0,1 kg	0,0882 Nm	4,6 V	0,10 A	0,46 W	0,473 W	-2,8 %
0,2 kg	0,176 Nm	4,6 V	0,2 A	0,92 W	0,934 W	-1,5 %
0,5 kg	0,441 Nm	4,6 V	0,52 A	2,39 W	2,36 W	-1,2%

Tabel 3 menunjukkan data hasil pengukuran arus, tegangan, dan daya pada motor servo berdasarkan nilai aktual yang diukur secara manual, dengan hasil perhitungan nilai konversi dari torsi motor dengan berdasarkan berat beban yang berbeda. Untuk beban 50 gram dan 500 gram didapatkan hasil beban yang terukur lebih besar 1,5% dari yang terhitung. Dan untuk beban 100 gram dan 200 gram daya aktual yang diserap oleh sistem jauh lebih kecil dari perhitungan yaitu 2,8 % lebih rendah.

4.1.3 Power Konsumsi Sistem

Tabel 4 berikut data konsumsi tegangan, arus dan daya keseluruhan sistem pada penelitian ini.

Tabel 4. Power konsumsi sistem.

Komponen	Tegangan (V)	Arus (I)	Daya (P)
Motor Stepper C1	23,48 VDC	0,98 A	23,01 W
Motor Stepper C2	23,21 VDC	0,46 A	10,67 W
Motor Stepper Z	23,07 VDC	0,012 A	0,276 W
Motor Servo dengan beban 0,05 kg	4,6 VDC	0,052 A	0,239 W
Step Down	5 VDC	0,27 A	1,35 W
Lampu Indikator Merah	24 VDC	0,2 A	4,8 W
Lampu Indikator Hijau	24 VDC	0,2 A	4,8 W
Limit Switch X	4,6 V	0,1	0,46 W
Limit Switch Y	4,6 V	0,1	0,46 W
Limit Switch Z	4,6 V	0,1	0,46 W
TOTAL dengan beban gripper 0,05 kg		2.474 A	46,525 W
TOTAL dengan beban gripper 0,5 kg		2.952 A	48,676 W

Tabel 4 di atas merupakan data yang diambil dari hasil pengujian alat dan spesifikasi alat. Pada rancangan kelistrikan ini, sumber tegangan *power supply* yang digunakan memiliki spesifikasi 24 Volt dan arus listrik 10 Ampere, maka daya listrik yang digunakan pada *power supply* adalah :

$$P = V \cdot I \tag{1}$$

Keterangan :

P : Daya Listrik (Watt)

V : Tegangan Listrik (Volt)
I : Arus Listrik (Ampere)
Diketahui :
 $P = 24 \text{ V} \cdot 10 \text{ A}$
 $P = 240 \text{ Watt}$

Tabel 4 menunjukkan bahwa *power* konsumsi pada sistem ini yaitu dengan arus total dan daya dan tegangan yang berbeda-beda yaitu 220 VAC, 24 VDC, dan 5 VDC. Dapat dinyatakan bahwa jika sumber tegangan sudah cukup untuk memenuhi *power* konsumsi sistem.

5. KESIMPULAN

Dari uraian di atas didapat kesimpulan sebagai berikut:

1. Pendistribusian sistem kelistrikan pada semua komponen berjalan dengan baik dan berhasil mencukupi kebutuhan *power* konsumsi berupa arus, tegangan dan daya yang disediakan dengan aktualisasi pengujian secara manual dan perhitungan matematis.
2. Dari hasil analisis yang telah dilakukan, sistem ini aman digunakan dengan total daya 46,525 watt untuk beban 50 gram dan 148,676 watt untuk beban 500 gram.
3. Dari pengujian yang telah dilakukan, semua komponen dapat bekerja dengan baik dan nilai arus, tegangan, serta daya yang dihasilkan dari pengukuran manual pada setiap komponen menunjukkan bahwa penggunaan power supply 24 Volt 10 Ampere dengan daya 240 Watt dapat mencukupi *power* konsumsi pada scara robot.
4. *Home position* pada *limit switch* dikendalikan oleh *LabView* untuk menetapkan atau mengatur posisi titik nol pada lengan C1, C2, dan Z-axis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1].M. Pelletier, "Manfaat Teknologi Robot SCARA," Control Engineering. https://www-controleng-com.translate.goog/articles/scara-robot-technology-benefits/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=id&_x_tr_hl=id&_x_tr_pto=tc
- [2].M. Andhy Satrio Anwar *et al.*, "Rancang Bangun Robot Arm 4 DOF Berbasis Mikrokontroler ATmega328," *Mechatronics J. Prof. Entren.*, vol. 3, no. 02, pp. 1–5, 2021.
- [3].Gerry Triyuda Hidayat Susanto, "Robot Lengan Pemilah Benda Berdasarkan Bentuk Dan Warna Berbasis Pemrosesan Citra," 2018.
- [4].Misel, "Apa itu SCARA Robot dan Aplikasinya di Dunia Industri," Misel. <https://misel.co.id/apa-itu-scara-robot-dan-aplikasinya-di-dunia-industri/>
- [5].G. R. Putra, R. Parlindungan, E. M. Dewi, J. T. Elektro, and P. N. Bandung, "Kendali Pergerakan Posisi Lengan Robot SCARA Berbasis Mikrokontroler," pp. 1–7
- [6].Latifa and J. Slamet Saputro, "Perancangan Robot Arm Gripper Berbasis Arduino Uno Menggunakan Antarmuka Labview," *Barometer*, vol. 3, no. 2, pp. 138–141, 2018, doi: 10.35261/barometer.v3i2.1395
- [7].U. H. Rizwan, U. Kumar, N. Kumar, Y. Baranwal, and M. Mursaleen, "Design and Manufacturing of Low Cost SCARA Robot," *Int. J. Eng. Res. Technol. (IJERT)*, vol. 10, no. 06, pp. 162–165, 2021.
- [8].P. Shevkar, S. Bankar, A. Vanjare, P. Shinde, V. Redekar, and S. Chidrewar, "A Desktop SCARA Robot using Stepper Motors," *Int. Res. J. Eng. Technol.*, vol. 06, no. 02, pp. 132–139, 2019
- [9].A. Andrian, R. Rahmadewi, and I. A. Bangsa, "Arm Robot Pemindah Barang (AtwoR) Menggunakan Motor Servo Mg995 Sebagai Penggerak Arm Berbasis Arduino," *Electro 61 Luceat*, vol. 6, no. 2, pp. 142–155, 2020, doi: 10.32531/jelekn.v6i2.226.
- [10]. D. Satria and L. Wati, "Pengaruh Kecepatan RPM Terhadap Konsumsi Daya Motor Stepper" *Jurnal Ilmu Komputer dan Bisnis*, Volume 10, Nomor 1, Mei 2019, vol. 10, pp. 2126–2134, 2019.

-
- [11]. F. Rahman, F. Faridah, A. Ikram Nur, and A. N. Makkarak, "Rancang Bangun Prototipe Manipulator Lengan Robot Menggunakan Motor Servo Berbasis Mikrokontroler," *ILTEK J. Teknol.*, vol. 15, no. 01, pp. 42–46, 2020, doi: 10.47398/iltek.v15i01.508.
- [12]. B. Y. D. Anders, T. Sem, and U. Karlsson, "Printed Circuit Board Printed Circuit Board," vol. 1, no. 2, pp. 1–2, 2005
- [13]. G. R. Putra, R. Parlindungan, E. M. Dewi, J. T. Elektro, and P. N. Bandung, "Kendali Pergerakan Posisi Lengan Robot SCARA Berbasis Mikrokontroler," pp. 1–7.
- [14]. Suprianto, "Jenis Motor Stepper," 2015 <https://blog.unnes.ac.id/antosupri/jenis-jenis-motor-stepper/>
- [15]. Andalan , "Kontruksi Motor Stepper", vol.4, no 6, 2021