

Sistem kontrol lengan robot berbasis Arduino dengan aplikasi GUI

Gilang Sandhika Putra^{1*}, Risfendra²

^{1,2} Teknik Elektro Industri, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang
Corresponding author, sssandhika@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini dilakukan untuk memudahkan proses pemrograman atau pengontrolan lengan robot dengan aplikasi GUI. Lengan robot yang digunakan adalah sebuah prototipe yang berbasis Arduino dan aplikasi GUI yang digunakan dibuat langsung menggunakan bahasa pemrograman Visual Basic .NET. Aktuator yang digunakan pada prototipe lengan robot adalah motor Stepper dan motor Servo. Sistem yang dibuat untuk memprogram lengan robot menggunakan metode *lead-through programming*. Metode ini memungkinkan operator untuk memprogram robot dengan cara yang sangat intuitif, yaitu dengan mengarahkan lengan robot secara langsung dan merekam posisinya untuk diputar kembali. Metode rekam ini dilakukan dengan cara membaca nilai tegangan dari potensiometer yang dihubungkan pada sumbu motor. Nilai tegangan yang dibaca oleh Arduino dikonversi menjadi nilai ukuran sudut, kemudian dikirim dan disimpan pada aplikasi GUI melalui jalur komunikasi serial. Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah memprogram prototipe lengan robot untuk memindahkan benda kerja sebanyak 5 kali. Pengujian difokuskan kepada akurasi posisi saat *end-effector* lengan robot meletakkan benda kerja tersebut. Hasil yang didapatkan cukup baik, dimana toleransi atau *error* yang diterima tidak lebih dari 8 mm.

Abstract

This research was conducted to facilitate the process of programming or controlling the robotic arm with a GUI application. The robotic arm used is a prototype based on Arduino and the GUI application used is made using the Visual Basic .NET programming language. The actuators used in the robotic arm prototype are Stepper motor and Servo motors. The system is created to program the robotic arm using the lead-through programming method. This method allows the operator to program the robot in a very intuitive way, that is, by directing the robotic arm directly and recording its position for playback. This recording method is carried out by reading the voltage value of the potentiometer which is connected to the axis of the motor. The voltage value read by the Arduino is converted into an angular size value, then sent and stored on the GUI application via a serial communication line. The test carried out in this research was to program a prototype of a robotic arm to move the workpiece 5 times. The test is focused on position accuracy when the end-effector of the robotic arm placed the workpiece. The results obtained are quite good, where the tolerance or error received is no more than 8 mm.

INFO.

Info. Artikel:

No. 270

Received. August, 01, 2022

Revised. August, 10, 2022

Accepted. August, 15, 2022

Page. 387 – 398

Kata kunci:

- ✓ Lengan robot
- ✓ Arduino
- ✓ Lead-through programming
- ✓ GUI
- ✓ Visual Basic .NET

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi pada abad ke-21 terjadi dengan cepat, hal ini ditandai dengan munculnya peralatan besar yang bisa dioperasikan dengan mudah. Pekerjaan menjadi lebih mudah dengan adanya peralatan – peralatan tersebut, terutama di industri besar maupun usaha menengah yang membutuhkan ketelitian, kehandalan dan kecepatan dalam produksinya. Salah satunya adalah pada proses pengemasan barang hasil produksi yang menggunakan lengan robot untuk disusun ke atas palet menjadi lebih mudah [1].

Sebagian besar proses pemrograman robot telah beralih dari pemrograman tingkat rendah kepada metode yang lebih intuitif. Dimana robot akan diprogram secara langsung dengan mengarahkan lengan robot tersebut kemudian merekam setiap gerakannya. Hal ini bertujuan untuk memudahkan

operator dalam memprogram sebuah gerakan pada lengan robot. Pada umumnya seorang operator robot industri bukanlah orang yang ahli dalam bidang pemrograman dan seorang operator juga bukan selalu merupakan orang yang memprogram robot yang mereka kendalikan.

Metode pemrograman lengan robot yang intuitif seperti ini disebut *lead-through programming*. Metode *lead-through programming* adalah metode pemrograman robot dengan cara memandu lengan robot pada area kerjanya, menggerakannya ke posisi yang diinginkan, merekam posisi yang diinginkan dan kemudian menjalankannya sesuai dengan posisi yang telah direkam sebelumnya. Keuntungan menggunakan metode *lead-through programming* ini adalah prosesnya yang sangat intuitif dan mudah untuk dilakukan [2].

Penelitian tentang lengan robot sudah pernah dilakukan sebelumnya [3, 4]. Pada penelitian ini, penulis mengajukan sebuah prototipe lengan robot berbasis Arduino yang diprogram dengan metode *lead-through programming* dan dipadukan dengan aplikasi GUI yang berjalan pada sistem operasi Windows. Aplikasi GUI dibuat untuk mengelola data yang direkam dari lengan robot serta memberikan perintah kepada lengan robot.

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah merancang sistem kontrol lengan robot berbasis Arduino menggunakan metode mengajarkan gerakan terhadap lengan robot atau yang biasa disebut *lead-through programming* melalui sebuah aplikasi GUI. Sistem kontrol lengan robot ini diharapkan dapat memudahkan proses memprogram atau menjalankan lengan robot bagi operator.

DASAR TEORI

Pada penelitian ini, sistem membutuhkan sebuah sensor yang dapat membaca posisi sudut persendian lengan robot. Komponen yang dipilih sebagai sensor tersebut adalah potensiometer, dimana potensiometer memiliki nilai hambatan atau resistansi yang berbeda pada setiap putaran knop potensiometer tersebut. Dengan menghubungkan knop potensiometer kepada sumbu motor, maka posisi sumbu motor tersebut dapat diketahui dengan membaca nilai analog potensiometer menggunakan perintah `analogRead ()` pada Arduino [5]. Penggerak pada lengan robot menggunakan dan motor Stepper dan motor Servo.

Motor Stepper

Motor Stepper adalah motor listrik *brush-less DC* yang putaran penuhnya dibagi menjadi sejumlah langkah atau *step* dan dapat digerakkan sesuai dengan jumlah langkah yang diinginkan [6]. Motor Stepper yang digunakan adalah Nema-17 dengan 200 langkah untuk setiap putarannya, maka setiap langkah sama dengan 1.8 derajat putaran seperti yang ditunjukkan pada persamaan (1).

$$\text{langkah} = \frac{360^\circ}{200 \text{ langkah}} = 9^\circ / 5 \text{ langkah} \quad (1)$$

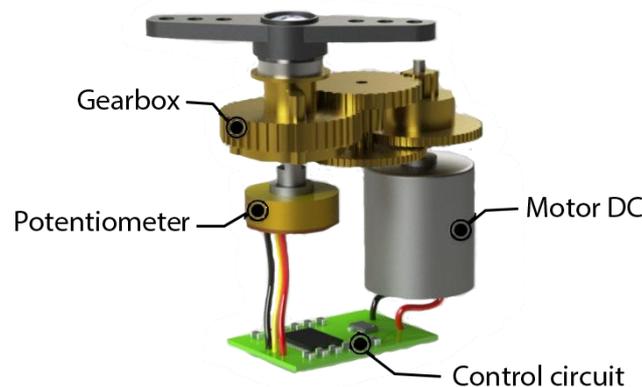
Pada penelitian ini, konfigurasi langkah pada motor Stepper menggunakan resolusi yang lebih tinggi atau biasa disebut *micro-stepping*, yaitu menggunakan *micro-steps* sebanyak 1/32 kali. Jika dimasukkan ke dalam persamaan (1), maka didapatkan pergerakan motor Stepper seperti yang ditunjukkan pada persamaan (2) berikut.

$$\text{langkah} = \frac{360^\circ}{200 \text{ langkah}} \times \frac{1}{32} = \frac{360^\circ}{6400 \text{ langkah}} = 9^\circ / 160 \text{ langkah} \quad (2)$$

Pada motor Stepper, potensiometer dihubungkan dengan mekanisme roda gigi dengan perbandingan 1 : 2 terhadap sumbu motor. Dimana $\frac{1}{2}$ putaran pada potensiometer sama dengan 1 putaran penuh pada motor Stepper.

Motor Servo

Motor Servo adalah motor DC yang memungkinkan untuk mengontrol posisi sudut akhir, kecepatan, serta percepatan dengan presisi [7]. Pada motor Servo, potensiometer yang digunakan adalah potensiometer bawaan motor Servo itu sendiri. Untuk membaca nilai potensiometer pada motor Servo cukup dengan mengambil data dari pin 2 atau kaki tengah potensiometer tersebut. Komponen penyusun motor Servo ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Komponen dalam motor Servo

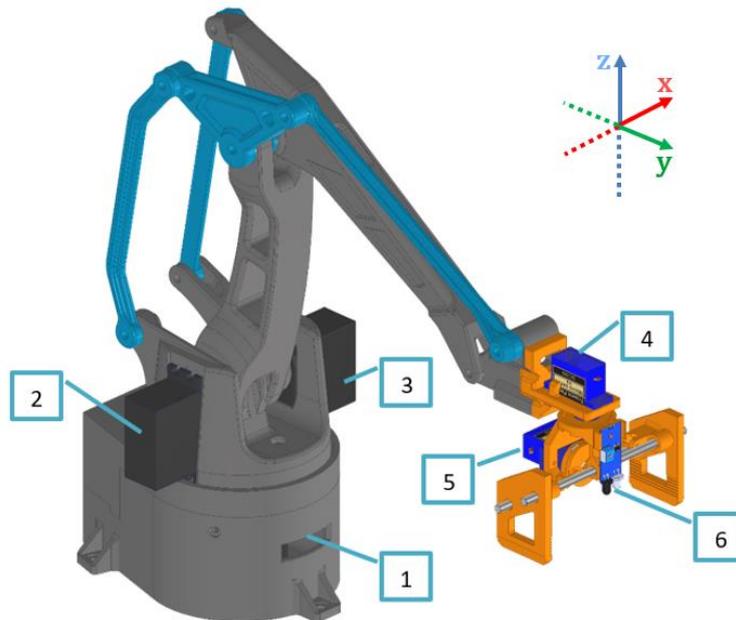
Untuk dapat menggerakkan motor Servo pada saat prototipe lengan robot dalam keadaan menyala, maka motor Servo harus dinonaktifkan dengan memberikan perintah 'detach' pada Arduino [8].

METODE PENELITIAN

Penelitian yang dilakukan adalah merancang desain mekanik dan elektronik prototipe lengan robot serta membuat program mikrokontroler Arduino dan aplikasi GUI.

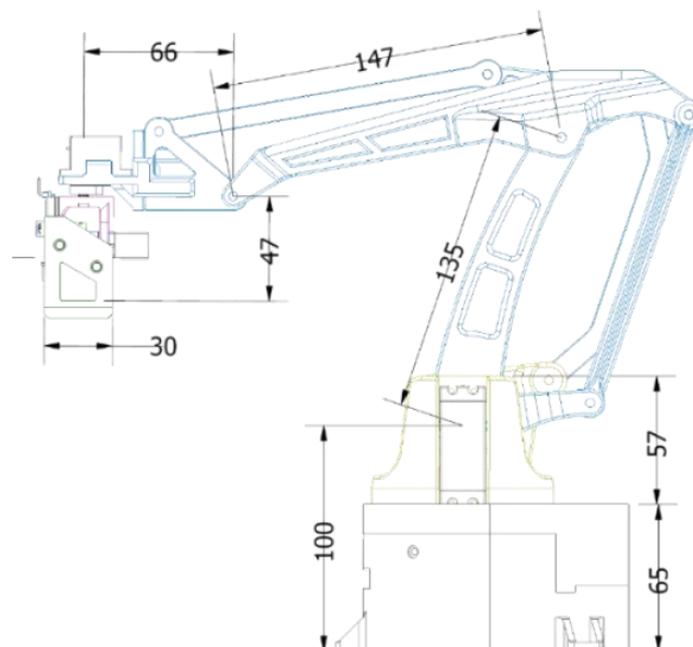
Rancangan lengan robot

Prototipe lengan robot akan dibuat mengikuti rancangan dari lengan robot IRB460 oleh ABB Robotics [9]. Rancangan seperti Lengan Robot IRB460 ini dipilih karena memiliki fungsi untuk memindahkan barang atau biasa disebut *pick and place*. Desain rancangan prototipe lengan robot dibuat menggunakan bantuan *software* Autodesk Inventor.



Gambar 2. Rancangan lengan robot

Prototipe lengan robot menggunakan beberapa macam motor pada setiap persendiannya, diantaranya motor Stepper nema-17 (1) pada bagian *base rotation*, motor Servo MG996R (2,3) pada bagian *shoulder* dan *elbow* serta motor Servo SG90 (4,5) pada bagian *roll* dan *gripper*. Pada lengan robot juga diletakkan sebuah sensor *infrared proximity* (6) untuk mendeteksi keberadaan benda.



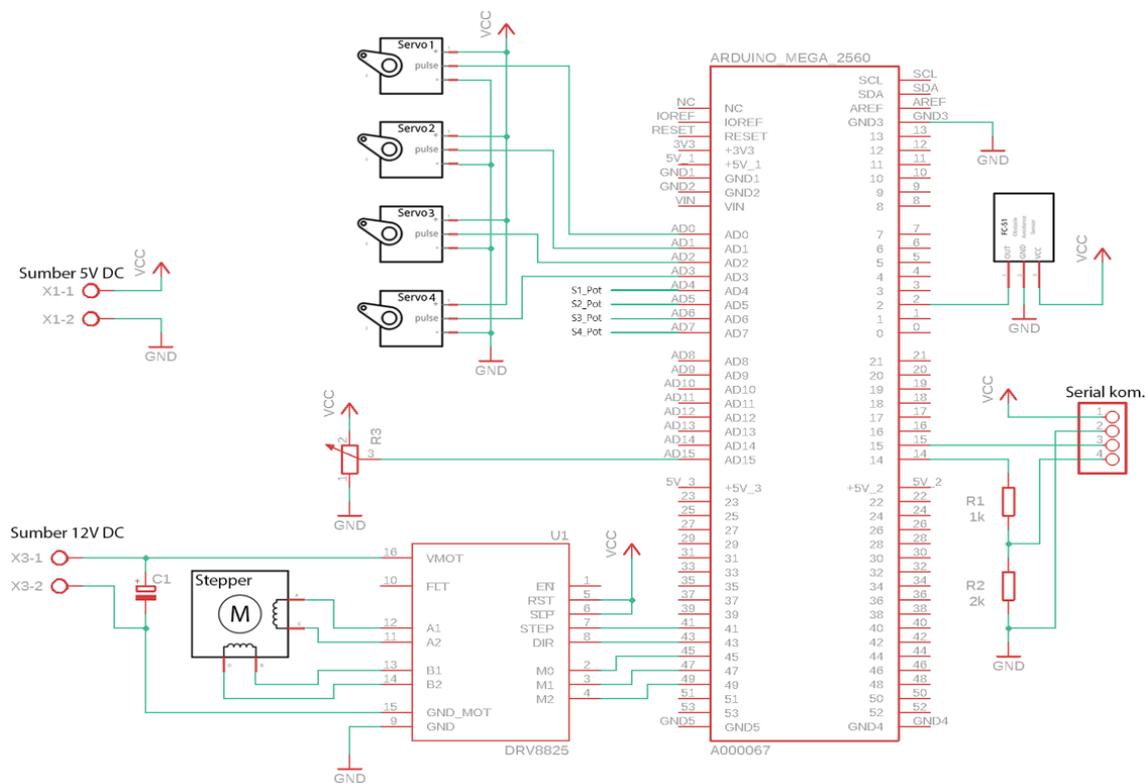
Gambar 3. Dimensi prototipe lengan robot dalam mm

Prototipe lengan robot memiliki dimensi seperti yang ditunjukkan pada gambar 3. Dengan panjang lengan 135 mm, 147 mm dan 66 mm, maka *end-effector* pada prototipe lengan robot ini dapat

menjangkau benda hingga radius 348 mm. Namun pada penelitian ini gerakan lengan robot dibatasi hingga radius 280 mm saja.

Rancangan mekanik prototipe lengan robot akan dicetak menggunakan mesin *3D Printing*. Bahan yang digunakan untuk mencetak lengan robot adalah filamen berbahan dasar PLA (*polylactic acid*). PLA dipilih karena dapat dengan mudah diampelas, dicat, atau proses lainnya setelah selesai dicetak. PLA memiliki karakteristik yang baik dibandingkan bahan plastik keras lainnya [10].

Rancangan elektronik pada prototipe lengan robot menggunakan 2 buah sumber tegangan, yaitu tegangan 12 VDC untuk motor Stepper dan tegangan 5 VDC untuk mikrokontroler dan motor Servo. Mikrokontroler yang digunakan adalah Arduino Mega 2560. Potensiometer yang digunakan dihubungkan kepada pin 'Analog in' Arduino, supaya Arduino dapat membaca variasi nilai tegangan pada potensiometer tersebut. konfigurasi pin Arduino untuk sensor inframerah, motor Servo dan motor Stepper menggunakan pin digital. Untuk jalur komunikasi serial pada Arduino Mega 2560 dipilih Serial 0, karena bisa langsung dihubungkan pada port usb Arduino Mega 2560 itu sendiri. Rangkaian elektronik secara keseluruhan ditunjukkan pada gambar 4.

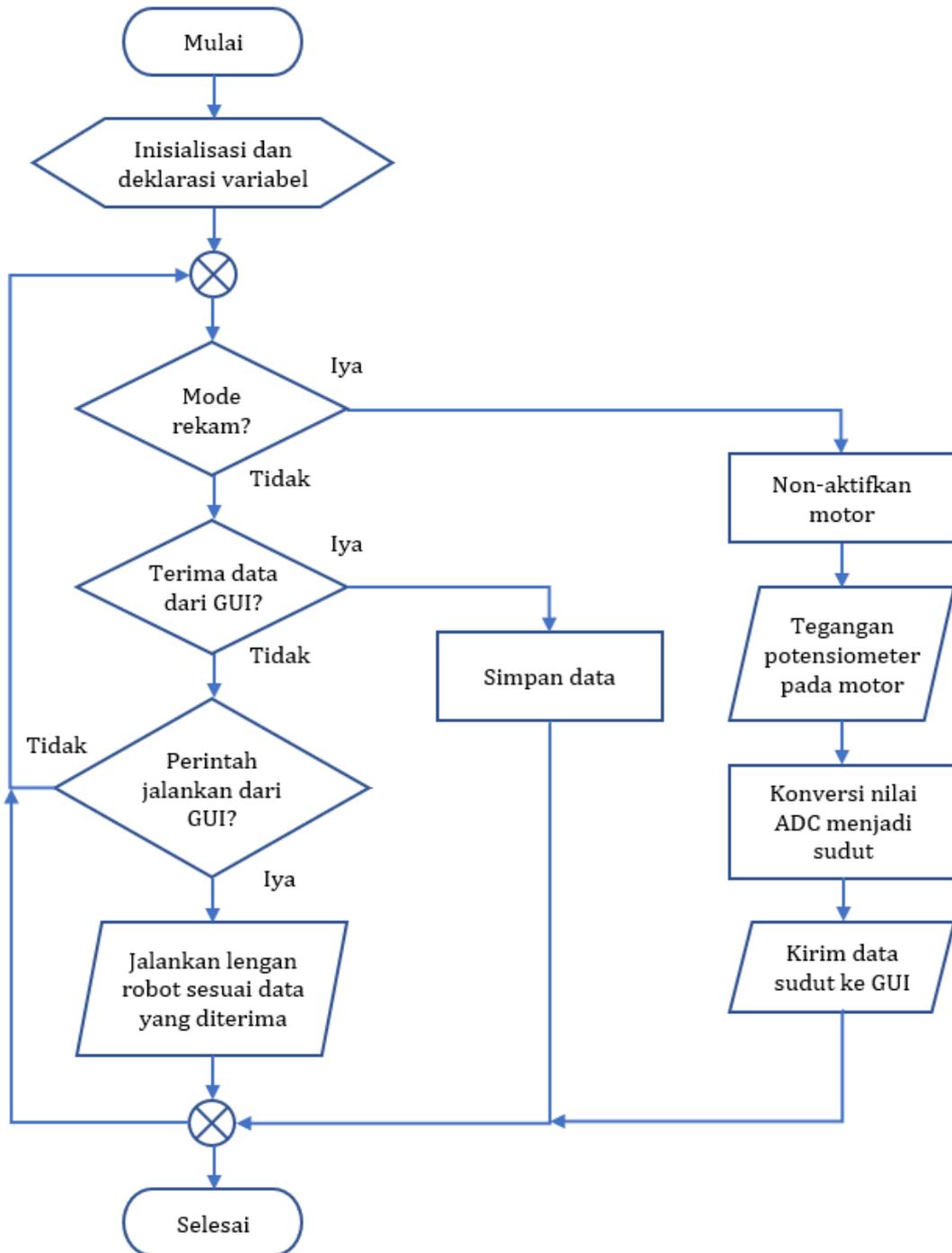


Gambar 4. Rangkaian keseluruhan prototipe lengan robot

Rancangan program

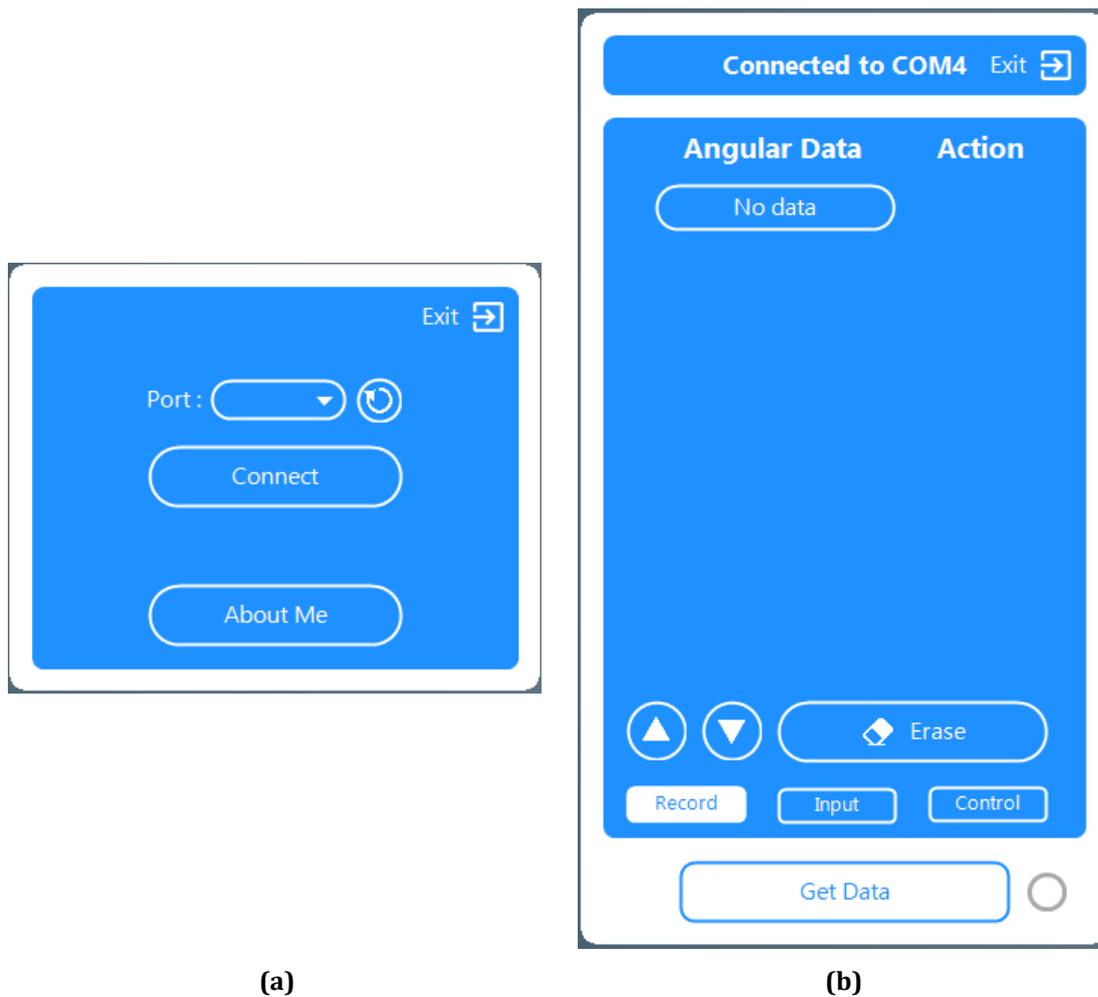
Rancangan program Arduino dan aplikasi GUI dibuat dalam bentuk diagram alir atau *flowchart* agar mudah diimplementasikan ke dalam bahasa program. Diagram alir atau *flowchart* merupakan langkah – langkah utama yang terstruktur dari kiri atas ke bawah untuk menyelesaikan suatu pekerjaan [11].

Rancangan program mikrokontroler Arduino yang akan dibuat adalah untuk menunggu perintah dari GUI. Beberapa perintah tersebut adalah perintah untuk mengaktifkan mode rekam, perintah untuk menyimpan data, dan perintah untuk menjalankan prototipe lengan robot. *Flowchart* pemrograman pada Arduino ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5. Flowchart program Arduino

Aplikasi GUI atau *graphical user interface* dibuat dengan bahasa pemrograman Visual Basic.NET menggunakan *software* Visual Studio IDE dengan hasil akhir dalam bentuk aplikasi Windows. Tampilan aplikasi GUI yang dibuat ditunjukkan pada gambar 5(a, b).

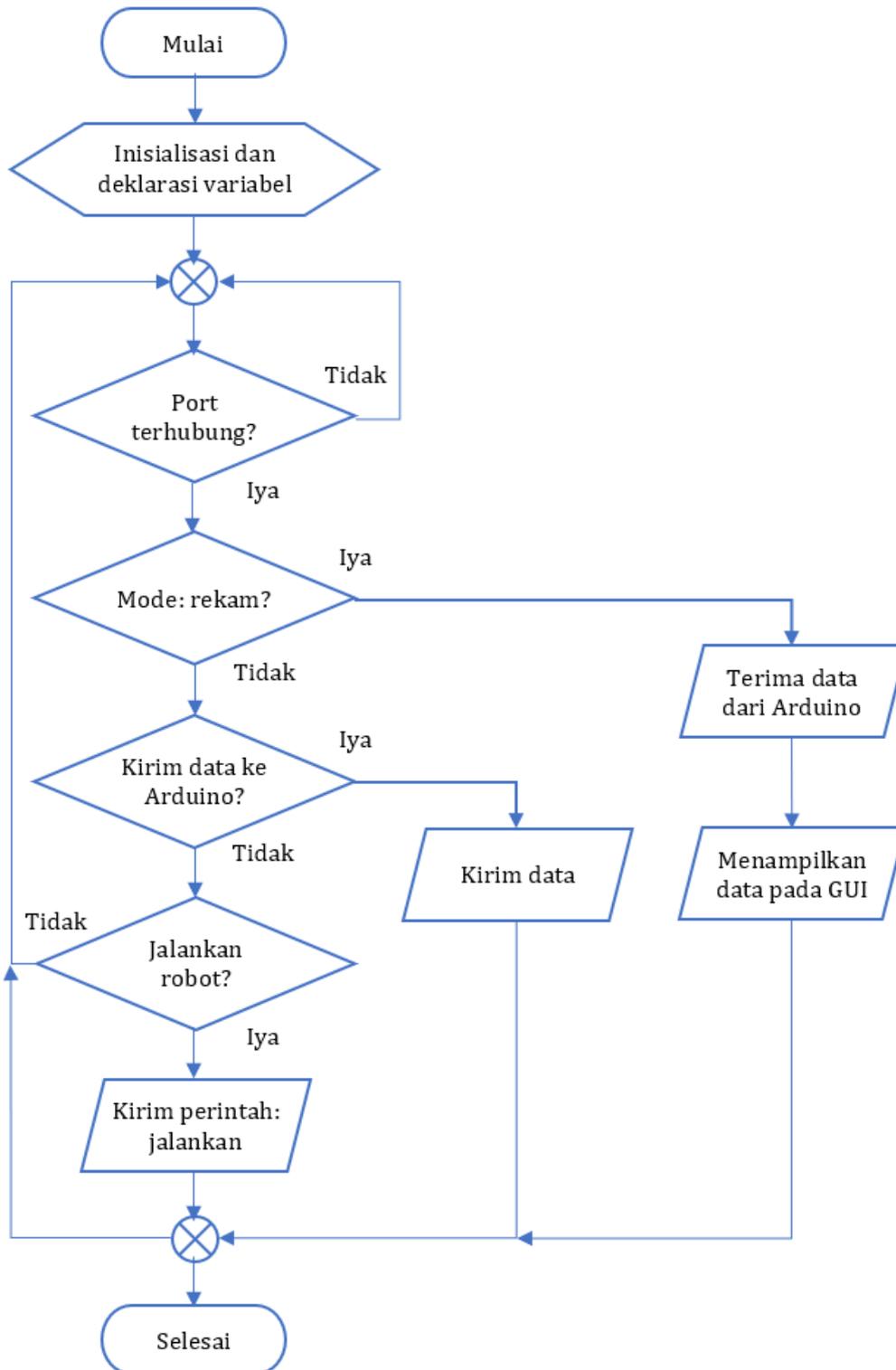


Gambar 6. Tampilan (a) awal, (b) mode rekam

Pada menu awal aplikasi GUI gambar 5(a), akan diminta untuk menghubungkan Arduino dengan komputer melalui port komunikasi Serial yang dipilih. Setelah memilih *port* Serial, bisa langsung menekan tombol 'Connect', maka aplikasi langsung beralih kepada menu rekam seperti yang ditunjukkan pada gambar 5(b). Pada menu rekam terdapat panel data yang terdiri dari kolom 'Angular Data' yang akan menampung data yang direkam dari Arduino dan kolom 'Action' untuk memberikan aksi pada *gripper*, yaitu aksi untuk menjepit atau melepaskan benda.

Pada panel data ini juga terdapat tombol panah atas dan bawah, serta tombol 'Erase' yang berguna untuk memindahkan posisi atau pun menghapus data yang sudah direkam. Pada bagian bawah tersedia tombol 'Get Data' untuk meminta atau merekam data posisi sudut persendian lengan robot dan kemudian ditampilkan pada kolom 'Data Angular'.

Setelah semua data yang diinginkan sudah dimasukkan ke dalam kolom data, maka selanjutnya data tersebut bisa dikirim ke Arduino dan prototipe lengan robot bisa langsung dijalankan berdasarkan *input* yang telah diberikan. *Flowchart* pemrograman aplikasi GUI ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 7. Flowchart program Visual Basic .NET

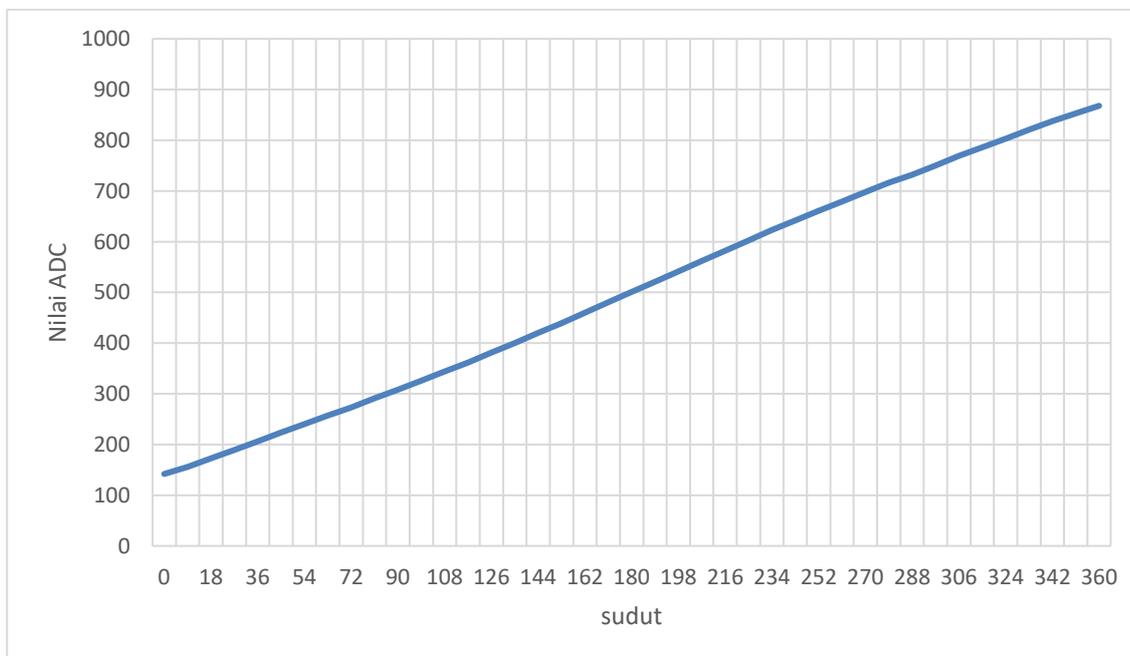
HASIL DAN PEMBAHASAN

Prototipe lengan robot yang sudah dibuat sesuai rancangan akan diuji untuk mengukur kesesuaian rancangan dengan hasil yang didapatkan. Untuk mendapatkan hasil yang diinginkan, yaitu menjalankan lengan robot dengan cara mengarahkan dan merekam posisinya, maka akan dilakukan pengujian dengan tujuan untuk membuat Arduino dapat mengetahui besar sudut pada lengan robot ketika diarahkan secara langsung. Pengujian akan dilakukan terhadap potensiometer pada masing – masing persendian lengan robot, yaitu pada 1 motor Stepper dan 3 motor Servo.

Pengujian pada motor Stepper dilakukan dengan cara menggerakkan sumbu motor dari sudut 0° hingga 360° dan membaca nilai tegangan potensiometer tersebut setiap kelipatan 9°. Pembacaan setiap kelipatan 9° dipilih sesuai dengan persamaan (2). Dengan berputarnya knop potensiometer, maka nilai resistansi potensiometer akan berubah dan mengakibatkan nilai tegangan pada potensiometer juga ikut berubah. Tegangan pada potensiometer yang dibaca oleh Arduino akan dikonversi menjadi data digital (ADC) 10-bit. Hasil pengujian terhadap potensiometer pada motor Stepper ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Pengujian data potensiometer pada motor Stepper

Sudut	0°	9°	18°	27°	36°	45°	54°	63°	72°	81°	90°
Nilai ADC	142	156	173	189	206	224	240	257	273	291	308
Sudut		99°	108°	117°	126°	135°	144°	153°	162°	171°	180°
Nilai ADC		326	344	362	381	400	420	439	460	481	501
Sudut		189°	198°	207°	216°	225°	234°	243°	252°	261°	270°
Nilai ADC		521	541	562	582	602	623	642	661	679	698
Sudut		279°	288°	297°	306°	315°	324°	333°	342°	351°	360°
Nilai ADC		716	732	750	769	786	803	821	838	853	868



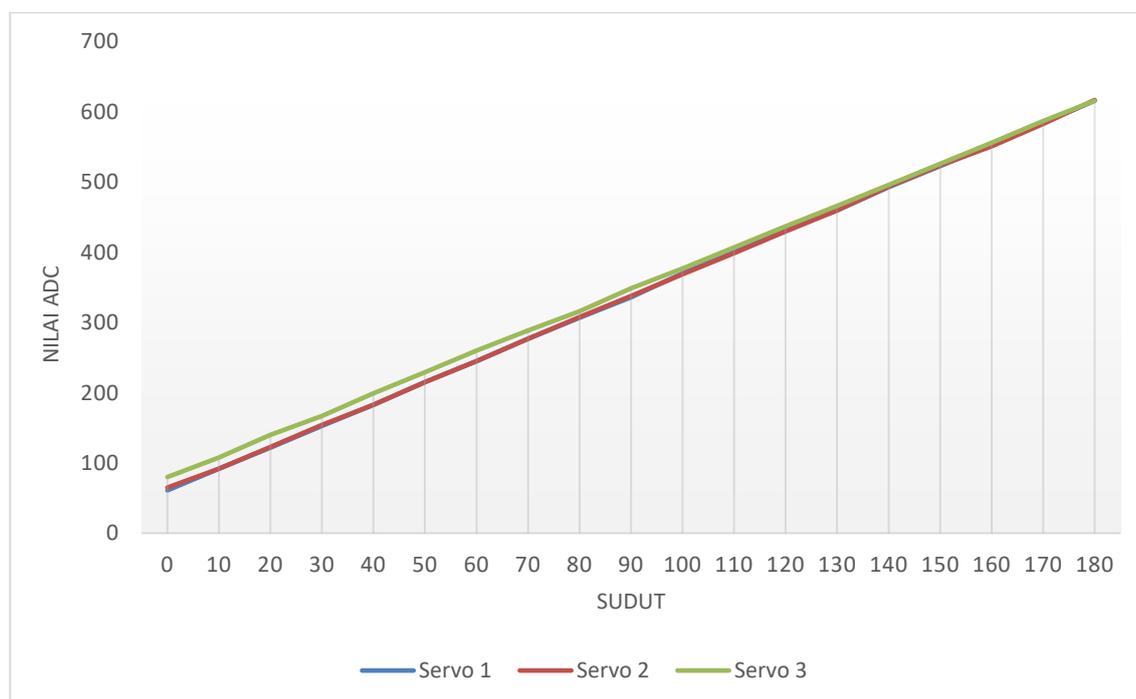
Gambar 8. Grafik nilai ADC potensiometer motor Stepper

Pengujian terhadap potensiometer pada motor Servo dilakukan seperti pada motor Stepper yaitu menggerakkan motor dan membaca nilai tegangan potensiometernya. Namun pengujian dimulai

dari posisi sudut 0° hingga 180° dengan kelipatan sudut 10°. Hasil pengujian pada ke-tiga motor Servo ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Pengujian data ADC potensiometer pada motor Servo

Servo	Nilai ADC potensiometer terhadap sudut																			
	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°	110°	120°	130°	140°	150°	160°	170°	180°	
1	61	92	122	153	183	215	245	277	307	336	370	400	431	460	493	523	554	585	616	
2	65	92	123	154	183	215	245	277	308	338	369	399	430	460	494	524	551	583	617	
3	80	108	140	167	199	229	260	289	316	349	377	407	437	466	496	526	556	587	616	



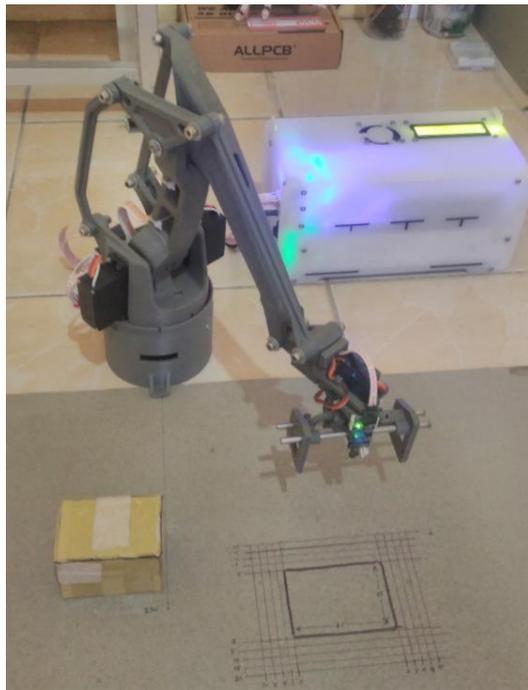
Gambar 9. Grafik nilai ADC potensiometer motor Servo

Dari grafik hasil pengujian potensiometer yang ditunjukkan pada gambar (8, 9), dapat dilihat garis tegangan atau nilai ADC pada potensiometer berbanding lurus dengan besar sudut sumbu motor. Dimana semakin besar sudut putaran sumbu motor, maka semakin besar pula nilai tegangan pada potensiometernya. Dari hasil pengujian ini besar sudut dapat langsung diketahui dengan menggunakan persamaan (3) berikut.

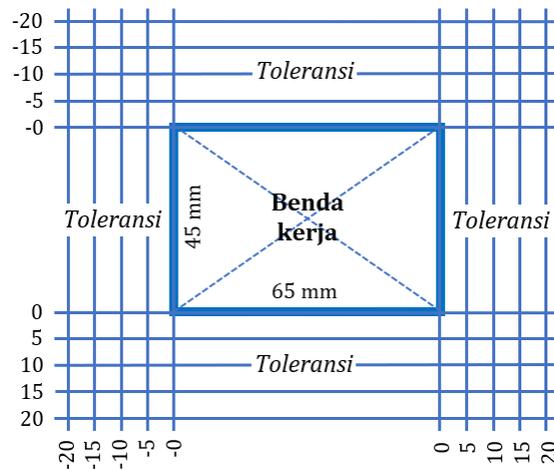
$$sudut = (nilai_ADC - ADC_min) \times \frac{(sudut_max - sudut_min)}{(ADC_max - ADC_min)} + sudut_min \quad (3)$$

Nilai tegangan analog potensiometer yang terbaca pada Arduino dan bisa dikonversi menjadi besar sudut dengan memasukkan nilai ADC yang terbaca pada potensiometer, nilai ADC minimal dan maksimal yang sesuai dengan data pada tabel hasil pengujian, serta ukuran sudut minimal dan maksimal yang sesuai dengan data pada tabel hasil pengujian.

Setelah mendapatkan data hasil pengujian terhadap potensiometer pada masing - masing motor. Selanjutnya adalah pengujian sistem secara keseluruhan, dimana lengan robot akan dikontrol dari aplikasi GUI dengan menggunakan mode rekam yang telah dibuat dengan metode *lead-through programming*.



(a)



(b)

Gambar 10. Area (a) kerja lengan robot, (b) penerima benda kerja dalam mm

Pengujian keseluruhan dilakukan untuk mengukur tingkat akurasi dari sistem dan prototipe lengan robot yang sudah dibuat. Pengujian dilakukan dengan mengarahkan lengan robot untuk memindahkan benda ke area penerima sebanyak 5 kali. Pengujian berfokus pada akurasi pada saat lengan robot meletakkan benda kerja. Akurasi peletakan benda kerja diukur terhadap bidang datar XY pada area penerimaan.

Tabel 3. Hasil pengukuran toleransi peletakan benda kerja

Pengujian	Toleransi <i>error</i> posisi <i>end-effector</i> (mm)	
	x	y
1	10.0	4.0
2	7.0	12.0
3	9.0	3.0
4	5.0	4.0
5	5.0	9.0
Rata - rata	7.2	6.4

Pada pengujian sistem kontrol prototipe lengan robot untuk memindahkan benda kerja sebanyak 5 kali menunjukkan hasil yang cukup baik. Rata - rata toleransi *error* posisi *end-effector* pada saat peletakan benda tidak lebih dari 8 mm. Besarnya toleransi pada pengujian bisa disebabkan oleh beberapa faktor, diantaranya adalah mekanik lengan robot yang kurang presisi dan proses pembacaan tegangan pada potensiometer yang kurang stabil.

KESIMPULAN

Dari hasil pengujian dan analisa dapat disimpulkan bahwa sistem dapat berjalan sesuai dengan yang diharapkan, proses untuk memprogram atau mengontrol prototipe lengan robot dapat dilakukan dengan mudah dan tentunya dengan akurasi yang cukup baik, yaitu kurang dari 8 mm.

Hasil penelitian yang telah didapatkan menunjukkan bahwa sistem bisa dikembangkan menjadi lebih baik lagi, yaitu dengan meningkatkan ketelitian atau presisi pada rangka mekanik sehingga toleransi menjadi lebih kecil. Pengembangan sistem yang lebih lanjut bisa dilakukan dengan menambahkan beberapa fitur, diantaranya menambahkan mode untuk mengatur lengan robot berdasarkan input dari user dan menambahkan program untuk lengan robot dapat mengatur pola susunan benda kerja secara otomatis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] G. Lee, "Advances in Automation and Robotics," in *International Convergence on Automation and Robotics 2011 (ICAR 2011)*, Newark, 2011.
- [2] A. Owen-Hill, "What Is the Best Way to Program a Robot?," RoboDK, 2018. [Online]. Available: <https://robodk.com/blog/program-robot-tips/>. [Accessed Mei 2022].
- [3] M. Didi, "Rancang Bangun Pengendalian Robot Lengan 4 DOF dengan GUI (Graphical User Interface) Berbasis Arduino Uno," *Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjungpura*, vol. 1, no. 1, 2016.
- [4] E. Sitompul and Sodri, "Prototipe Manipulator Lengan Robot Berbasis Arduino dengan Metoda Kendali Lead-Through," *Jurnal Elektro dan Mesin Terapan*, Vols. 6, No. 1, pp. 1-14, 2020.
- [5] Arduino, "Arduino reference - analogRead()," [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/reference/en/language/functions/analog-io/analogread/>. [Accessed Mei 2022].
- [6] Wikipedia, "Stepper Motor," 2022. [Online]. Available: https://en.m.wikipedia.org/wiki/Stepper_Motor. [Diakses Juni 2022].
- [7] D. Sawicz, *Hobby Servo Fundamentals*, 2012.
- [8] Arduino, "Servo - detach() - Arduino Reference," Arduino, [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/servo/detach/>. [Diakses Juni 2022].
- [9] ABB ROBOTICS, "IRB 460," Januari 2019. [Online]. Available: <https://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-460>. [Diakses 2021].
- [10] TWI, "What is PLA? (Everything You Need to Know)," Technical Knowledge, 2022. [Online]. Available: <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/what-is-pla#Applications>. [Diakses Juli 2022].
- [11] T. Schousek, "Fundamentals of good practice," in *The Art of Assembly Language Programming Using PIC© Technology*, Newnes, 2018, pp. 83-108.