



Design and Construction of an Arduino-Based Robotic Arm Training Kit Using Flex Sensors

Rancang Bangun Training Kit Robot Arm Berbasis Arduino Menggunakan Flex Sensor

Muhammad Kadhafi Al Khoiri Harahap^{1*}, Trinovita Zuhara Jingga^{2*}, Hendra^{3*}

¹ Program Studi Teknologi Rekayasa Komputer, Politeknik Pertanian Negeri Payakumbuh, Indonesia

² Program Studi Teknologi Rekayasa Komputer, Politeknik Pertanian Negeri Payakumbuh, Indonesia

³ Program Studi Teknologi Rekayasa Komputer, Politeknik Pertanian Negeri Payakumbuh, Indonesia

E-mail: dhafiharahap@gmail.com*, hendra.bgd@gmail.com

Abstract

Robotics learning requires a training medium that integrates mechanical design, sensors, actuators, and microcontroller programming. This study aimed to design and build an Arduino-based robot arm training kit using flex sensors. The research used a Research and Development approach with the ADDIE model. The initial mechanical model was adapted and modified in SolidWorks, fabricated by PLA-based three-dimensional printing, and integrated with an Arduino Mega, three flex sensors, one joystick, and four servo motors. Testing included flex-sensor characterization, servo-position accuracy, integrated functional testing, a pick-and-place task, and user evaluation. The fabrication required 462.65 g of filament and 15 h 3 min of printing. The flex sensors produced distinguishable ADC values at each reference position. The four actuators had an overall mean error of 2.28%. All six integrated functions operated successfully. The pick-and-place test achieved a 70% success rate with a mean successful completion time of 25.63 s, while user evaluation reached 88.22%, categorized as very good. The developed system can be used as a basic robotics training kit.

Article Information

Article History:

Received: 26/07/2026

First Revised: 16/08/2026

Accepted: 06/09/2026

Publication Date: 16/09/2026

Keywords:

Arduino; Flex Sensor; Robot Arm; Training Kit; Vocational Education



Copyright (c) 2026 Muhammad Kadhafi Al Khoiri Harahap, dkk.

Abstrak

Pembelajaran robotika memerlukan media praktikum yang mengintegrasikan desain mekanik, sensor, aktuator, dan pemrograman mikrokontroler. Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun training kit robot arm berbasis Arduino menggunakan *flex sensor*. Metode penelitian menggunakan pendekatan Research and Development dengan model ADDIE. Model mekanik awal diadaptasi dan dimodifikasi menggunakan *SolidWorks*, difabrikasi melalui pencetakan tiga dimensi berbahan PLA, kemudian diintegrasikan dengan Arduino Mega, tiga *flex sensor*, satu *joystick*, dan empat motor servo. Pengujian meliputi karakterisasi *flex sensor*, akurasi posisi servo, fungsi terintegrasi, tugas *pick and place*, serta evaluasi pengguna. Proses fabrikasi membutuhkan 462,65 g filamen dengan waktu cetak 15 jam 3 menit. *Flex sensor* menghasilkan nilai ADC yang dapat dibedakan pada setiap posisi acuan. Empat aktuator memperoleh rata-rata *error* keseluruhan sebesar 2,28%, sedangkan enam fungsi terintegrasi bekerja seluruhnya. Pengujian *pick and place* mencapai keberhasilan 70% dengan rata-rata waktu berhasil 25,63 detik, dan evaluasi pengguna memperoleh 88,22% dengan kategori sangat baik. Sistem yang dikembangkan dapat digunakan sebagai training kit dasar praktikum robotika.



Copyright (c) 2026 Muhammad Kadhafi Al Khoiri Harahap, dkk.

Artikel Info

Riwayat Artikel:

Diterima: 26/07/2026

Direvisi: 16/08/2026

Disetujui: 06/09/2026

Dipublikasikan: 16/09/2026

Kata Kunci:

Arduino; Flex Sensor; Robot Arm; Training Kit; Vocational Education

1. Pendahuluan

Robot *arm* merupakan manipulator mekanis yang meniru fungsi lengan manusia untuk melakukan pemindahan objek, perakitan, dan pekerjaan presisi. Sistem ini tersusun atas struktur mekanik, sensor, aktuator, serta unit kendali. Jumlah gerak independen pada sendi menentukan *degree of freedom* (DOF) dan fleksibilitas robot. Pada pembelajaran robotika, konsep tersebut relevan untuk memperkenalkan hubungan antara bagian mekanik dan sistem kendali kepada mahasiswa (Awad et al., 2025; Fauzan & Pramudita, 2024).

Pendidikan vokasi menuntut mahasiswa tidak hanya memahami teori, tetapi juga mampu merancang, merakit, menguji, dan memperbaiki sistem. Media robot *arm* komersial umumnya bersifat tertutup dan kurang fleksibel untuk dimodifikasi. *Trainer* berbasis Arduino dapat menjadi media praktikum yang lebih terbuka karena hubungan sensor, mikrokontroler, dan aktuator dapat diamati secara langsung (Alamsyah et al., 2022). Pengembangan bahan ajar robotika juga dapat mendukung kompetensi praktikum mahasiswa apabila proses perakitan dan pengujiannya disusun secara jelas (Ramadhani et al., 2022).

Perancangan mekanik menggunakan *Computer-Aided Design* diperlukan untuk menghubungkan pembelajaran komputer grafik dengan implementasi robot nyata. *SolidWorks* digunakan untuk membuat model *part*, *assembly*, dan gambar teknis sebelum komponen diproduksi. Pendekatan tersebut mendukung pemeriksaan dimensi, dudukan aktuator, mekanisme sambungan, dan susunan komponen *robot arm* (Febrianto, 2024). Teknologi *3D printing* kemudian memungkinkan komponen modular diproduksi menggunakan material PLA dan dirakit sesuai rancangan (Sutisna et al., 2022).

Flex sensor digunakan sebagai masukan karena nilai resistansinya berubah mengikuti tekukan dan dapat diterapkan pada perangkat *wearable* (Song et al., 2023). Pada penelitian ini, tiga *flex sensor* membaca gerakan siku, pergelangan tangan, dan jari untuk mengendalikan *shoulder*, *elbow*, dan *gripper*, sedangkan *joystick* mengendalikan rotasi *base*. Kendali berbasis gerakan memberi interaksi yang lebih langsung, tetapi setiap sensor memerlukan kalibrasi karena rentang keluarannya berbeda (Vij, 2025).

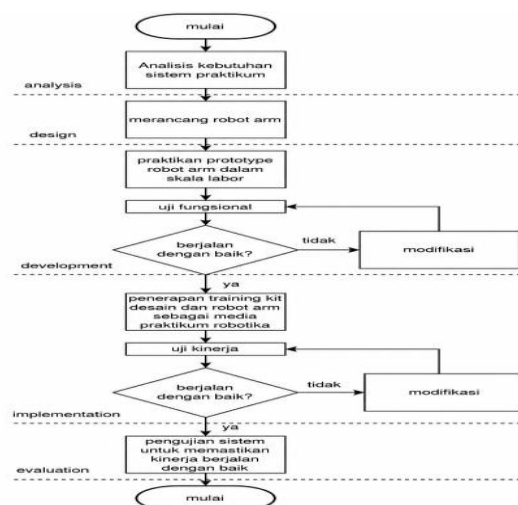
Meskipun beberapa penelitian terdahulu telah membahas pengembangan *trainer kit* Arduino (Alamsyah et al., 2022), perancangan robot *arm* edukasi (Febrianto, 2024), dan penggunaan kendali gestur (Fauzan & Pramudita, 2024), pengembangannya masih dilakukan secara terpisah. Kebaruan (*novelty*) dari penelitian ini terletak pada integrasi seluruh elemen tersebut ke dalam satu ekosistem *training kit* robot *arm* 4 DOF. Sistem ini memiliki keunggulan berupa penggunaan kendali masukan hibrida, yakni tiga *flex sensor* untuk pembacaan gestur mekanika lengan secara intuitif dan satu *joystick* untuk presisi rotasi *base*, yang dibungkus dalam rancangan mekanik modular berbahan cetak 3D yang bersifat terbuka (*open-source*).

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun purwarupa *training kit* tersebut, dengan harapan dapat memberikan manfaat langsung bagi proses pembelajaran. Kehadiran *training kit* ini diharapkan mampu menjembatani kesenjangan antara teori dan praktik, sehingga secara signifikan meningkatkan kompetensi mahasiswa pada mata kuliah robotika. Melalui *training kit* ini, mahasiswa tidak hanya mengamati, tetapi dapat mempraktikkan langsung proses bongkar-pasang komponen mekanik, instalasi jalur elektronik (*wiring*), hingga memodifikasi parameter program kendali, yang pada akhirnya akan memperdalam pemahaman mereka terhadap interaksi fisik antara sensor, mikrokontroler, dan aktuator.

2. Metodologi

2.1 Rancangan dan Tahapan Pengembangan

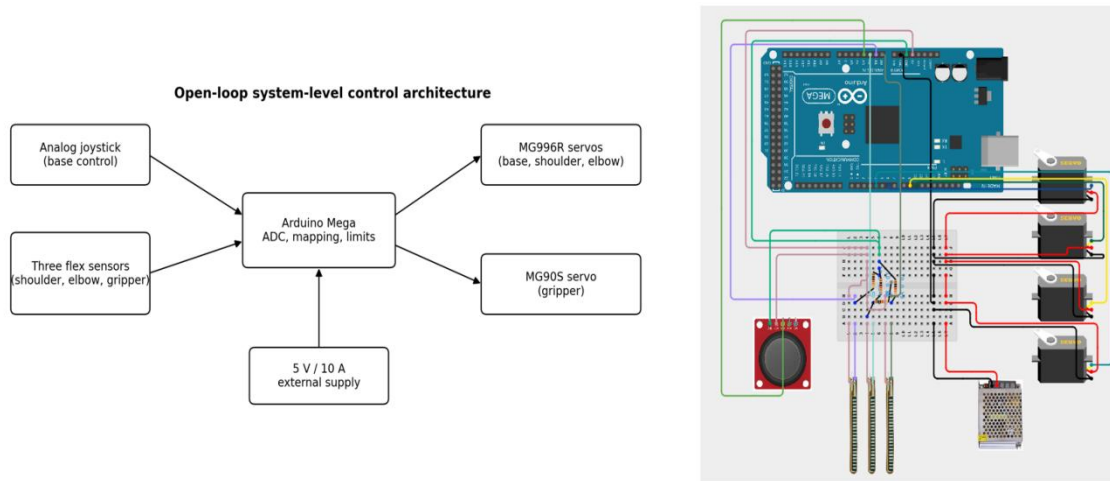
Penelitian menggunakan pendekatan *Research and Development* dengan model ADDIE yang terdiri atas *analysis*, *design*, *development*, *implementation*, dan *evaluation*. Tahap *analysis* dilakukan untuk mengidentifikasi kebutuhan media praktikum, perangkat keras, perangkat lunak, dan sistem kendali. Tahap *design* mencakup perancangan mekanik, diagram blok, *wiring diagram*, *flowchart*, dan pemetaan input-output. Tahap *development* meliputi pencetakan komponen, perakitan mekanik dan elektronik, serta pengembangan program. Tahap *implementation* dilakukan melalui pengujian sensor, servo, fungsi terintegrasi, dan *pick and place*. Tahap *evaluation* menggunakan kuesioner untuk menilai kemudahan perakitan dan penggunaan *training kit*. Diagram tahapan penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Tahapan Penelitian Berbasis ADDIE.

2.2 Arsitektur Sistem dan Perangkat

Sistem terdiri atas perangkat input, unit pemrosesan, aktuator, struktur mekanik, dan catu daya. Arduino Mega digunakan sebagai pusat kendali. Tiga *flex sensor* pada siku, pergelangan tangan, dan jari mengendalikan *shoulder*, *elbow*, dan *gripper*, sedangkan *joystick* analog mengendalikan rotasi *base*. Servo MG996R digunakan pada *base*, *shoulder*, dan *elbow*, sedangkan servo MG90S digunakan pada *gripper*. Catu daya eksternal 5 V 10 A digunakan untuk menyuplai aktuator, dengan seluruh ground dihubungkan sebagai common ground. Arsitektur dan *wiring* sistem ditunjukkan pada Gambar 2, sedangkan pemetaan pin disajikan pada Tabel 1.



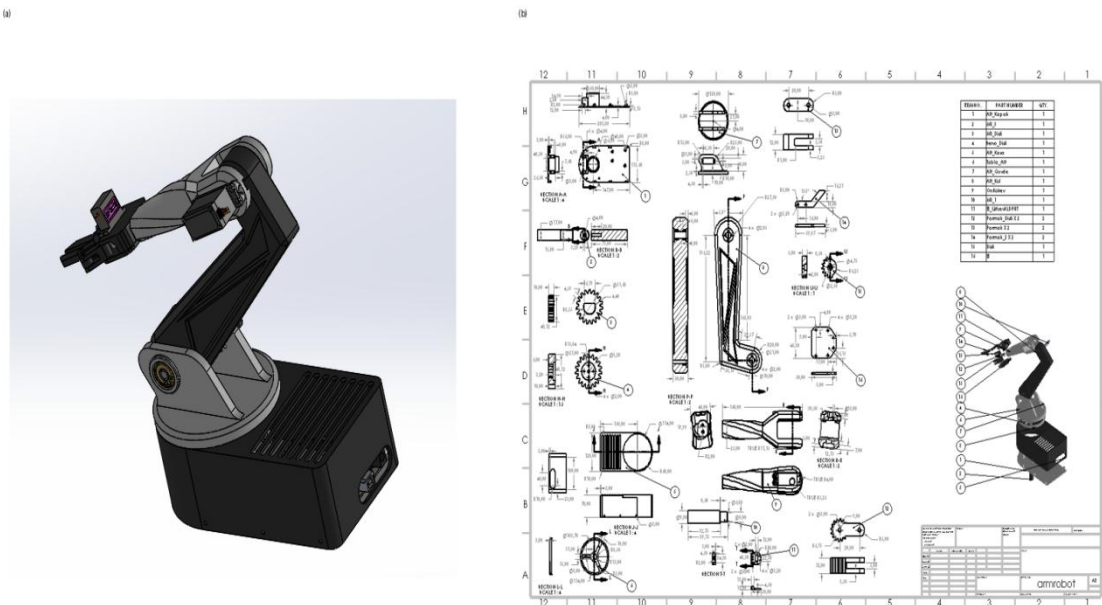
Gambar 2. Arsitektur dan wiring sistem: (a) arsitektur kendali dan (b) wiring perangkat keras.

Tabel 1. Konfigurasi Perangkat Dan Pemetaan Pin Arduino

Komponen	Jumlah/pin	Fungsi utama
Arduino Mega	1 unit	Akuisisi analog, mapping, dan kendali servo
Flex sensor shoulder	1/A0	Membaca tekukan siku untuk mengendalikan shoulder
Flex sensor gripper	1/A1	Membaca tekukan jari untuk mengendalikan gripper
Flex sensor elbow	1/A2	Membaca gerak pergelangan untuk mengendalikan elbow
Joystick analog	1/A3	Mengendalikan rotasi horizontal base
Servo base	MG996R/D4	Gerakan rotasi horizontal
Servo gripper	MG90S/D6	Membuka dan menutup end-effector
Servo shoulder	MG996R/D9	Gerak vertikal link utama
Servo elbow	MG996R/D10	Gerak vertikal lengan bawah
Catu daya eksternal	5 V, 10 A	Sumber daya aktuator

2.3 Perancangan Mekanik dan Fabrikasi

Robot arm dirancang sebagai articulated robot yang terdiri atas *base*, *shoulder*, *elbow*, dan *gripper*. Desain awal mekanik diadaptasi dari model yang dipublikasikan melalui kanal YouTube oleh (Kalem, 2025), kemudian dimodifikasi menggunakan *SolidWorks* agar sesuai dengan kebutuhan *training kit*, dimensi servo, *bearing*, poros, roda gigi, sambungan, dan struktur *gripper*. Komponen dibuat modular agar dapat dicetak, dirakit, dilepas, dan diganti secara terpisah. Model akhir hasil modifikasi dan gambar teknis ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Desain mekanik robot arm: (a) model akhir hasil modifikasi dan (b) gambar teknis komponen.

Model tiga dimensi diekspor ke format STL dan diproses menggunakan Anycubic Slicer untuk menghasilkan G-code. Komponen dicetak menggunakan printer Anycubic Kobra S1 dan filamen PLA berdiameter 1,75 mm. Parameter pencetakan meliputi nozzle 0,4 mm, layer height 0,20 mm, infill 20%, kecepatan 60 mm/s, suhu nozzle 200 °C, dan suhu bed 60 °C sebagaimana disajikan pada Tabel 2.

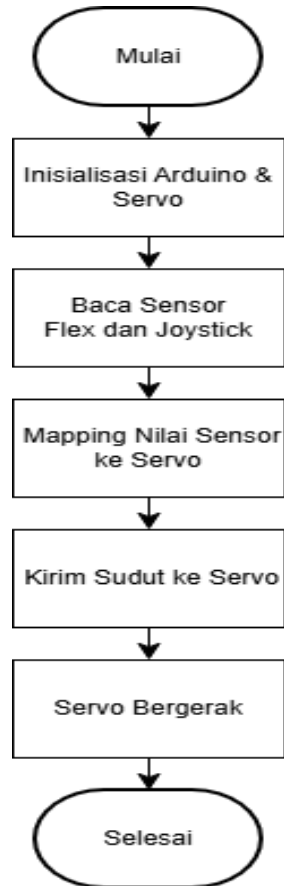
Tabel 2. Parameter Pencetakan Komponen Robot Arm

Parameter	Pengaturan
Printer	Anycubic Kobra S1
Material	PLA 1,75 mm
Diameter nozzle	0,4 mm
Layer height	0,20 mm
Infill	20%
Kecepatan cetak	60 mm/s
Suhu nozzle	200 °C
Suhu bed	60 °C

2.4 Algoritma Kendali

Sistem menerapkan *open-loop control* pada tingkat pengendali utama karena Arduino tidak menerima umpan balik eksternal mengenai posisi aktual bagian mekanik. Pemilihan metode *open-loop* pada rancangan tingkat sistem ini didasarkan pada pertimbangan kesederhanaan arsitektur, kemudahan pemahaman instalasi bagi mahasiswa pemula, serta efisiensi fabrikasi yang dinilai sudah sangat memadai untuk standar *training kit* robotika dasar. Keterbatasan utama dari metode ini jika dibandingkan dengan sistem *closed-loop control* adalah ketiadaan sensor umpan balik dari luar (seperti *rotary encoder* pada sendi mekanik lengan atau kamera *vision*). Akibatnya, mikrokontroler hanya mengirimkan perintah satu arah dan tidak dapat memverifikasi apakah posisi akhir lengan sudah akurat. Sistem juga tidak mampu melakukan koreksi kompensasi secara otomatis apabila pergerakan robot tertahan oleh beban mekanik berlebih atau objek yang diangkat terjatuh.

Untuk meminimalisasi kelemahan struktural tersebut, stabilitas pergerakan dikompensasi melalui susunan program. Program membaca nilai analog dari tiga *flex sensor* dan *joystick*, kemudian melakukan *mapping* ke sudut servo. *Smooth movement* diterapkan melalui perubahan posisi secara bertahap untuk mencegah sentakan servo yang dapat merusak struktur cetakan 3D, sedangkan *deadzone* pada *joystick* mencegah *base* bergerak secara tidak stabil ketika tuas berada di sekitar posisi tengah. Alur kerja program ditunjukkan pada Gambar 4



Gambar 4. Alur program kendali robot arm pada Arduino Mega.

2.5 Teknik Pengujian dan Analisis Data

Setiap *flex sensor* diuji sebanyak sepuluh kali pada posisi yang telah ditentukan. Data dianalisis menggunakan nilai rata-rata untuk mengetahui karakteristik pembacaan sensor pada setiap kondisi (Sofwatillah et al., 2024). Rata-rata dihitung menggunakan Persamaan, dengan x sebagai data hasil pengukuran dan n sebagai jumlah data.

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$

Akurasi servo dianalisis dengan membandingkan sudut target dengan sudut aktual hasil pengukuran. Persentase *error* digunakan untuk menggambarkan ketelitian servo dalam mengikuti perintah sudut (Dwi Ramadhany et al., 2025). Persentase *error* dihitung menggunakan Persamaan, sedangkan rata-rata *error* dihitung menggunakan Persamaan.

$$\text{Error (\%)} = \frac{|\text{Nilai Target} - \text{Nilai Aktual}|}{\text{Nilai Aktual}} \times 100\%$$

Data kuesioner dianalisis menggunakan Skala Likert untuk mengetahui tingkat kemudahan mahasiswa dalam merangkai dan menggunakan training kit (Kurniawan, 2024). Instrumen menggunakan lima alternatif jawaban dari Sangat Tidak Setuju dengan skor 1 sampai Sangat Setuju dengan skor 5. Persentase penilaian dihitung menggunakan Persamaan, dengan X sebagai total skor yang diperoleh, N sebagai jumlah responden, dan Skor maks sebagai skor maksimum.

$$P = \frac{\sum X}{N \times Skor_{maks}} \times 100\%$$

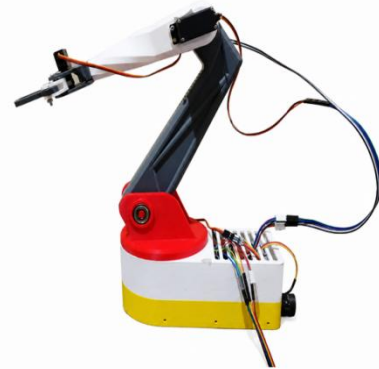
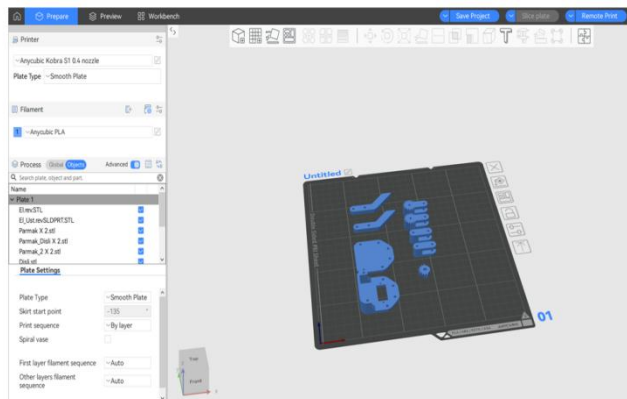
Pengujian keseluruhan dilakukan melalui tugas pick and place sebanyak sepuluh percobaan menggunakan penghapus seberat 15 g yang dipindahkan dari titik A ke titik B sejauh 10 cm. Percobaan dinyatakan berhasil apabila robot mampu menjepit, memindahkan, dan meletakkan objek pada titik tujuan tanpa terjatuh. Kriteria tersebut mengikuti tahapan keberhasilan tugas pick and place yang mencakup pembentukan genggaman, pengangkatan dan pemindahan, serta pelepasan dan penempatan objek (Zhu et al., 2021). Persentase keberhasilan dihitung menggunakan Persamaan.

$$\text{Keberhasilan} = \frac{\text{Jumlah percobaan berhasil}}{\text{Jumlah seluruh berhasil}} \times 100\%$$

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Realisasi Prototipe

Komponen mekanik yang dirancang menggunakan *SolidWorks* berhasil dicetak dan dirakit menjadi *robot arm* artikulasi. Proses pascapencetakan meliputi pelepasan *support*, pembersihan permukaan, pemeriksaan lubang baut, pemasangan *bearing* dan poros, serta penyetulanudukan servo. Perakitan dilakukan mulai dari *base*, *shoulder*, *elbow*, dan *gripper*. Gambar 5 memperlihatkan proses slicing dan prototipe setelah seluruh bagian disatukan.



Gambar 5. Fabrikasi dan realisasi: (a) proses slicing komponen dan (b) prototipe robot arm terakit.

Tabel 3. Penggunaan Material Dan Waktu Pencetakan

Komponen	Massa filamen (g)	Panjang filamen (m)	Waktu cetak
Base	290,99	97,56	8 jam 38 menit
Shoulder	105,05	35,22	3 jam 14 menit
Elbow	41,33	13,86	2 jam 4 menit
Gripper	25,28	8,48	1 jam 7 menit
Total	462,65	155,12	15 jam 3 menit

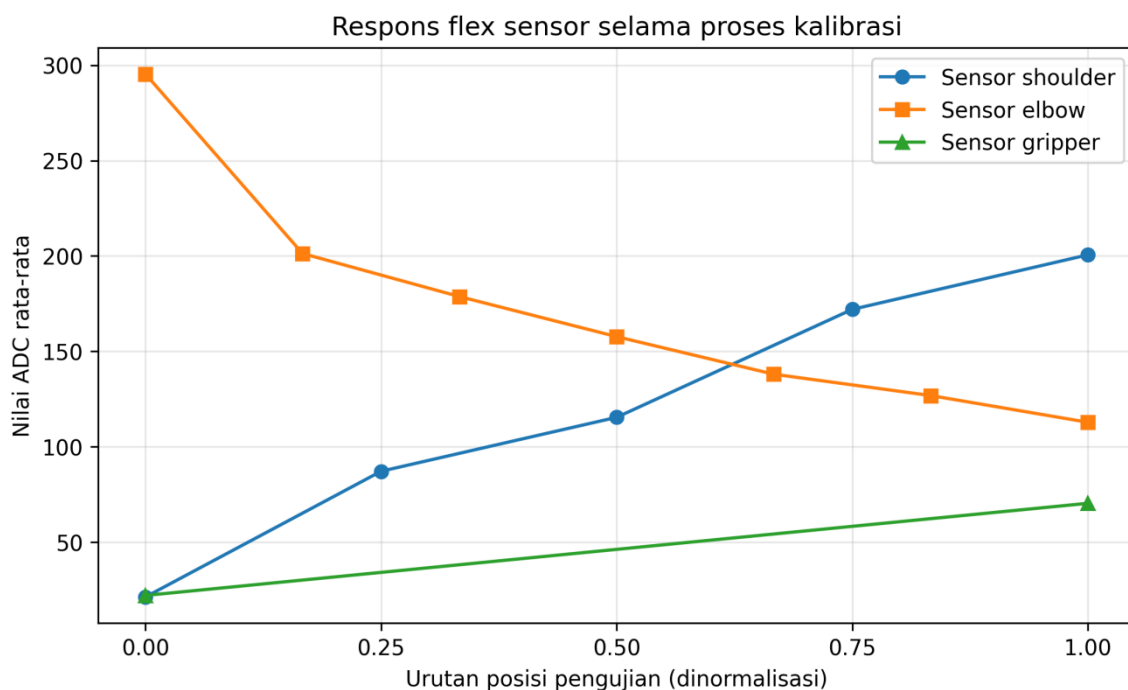
Base menggunakan material dan waktu pencetakan paling besar karena memiliki volume dan jumlah komponen lebih banyak serta menopang keseluruhan struktur. Gripper membutuhkan material dan waktu pencetakan paling sedikit. Total filamen yang digunakan sebesar 462,65 g dengan panjang 155,12 m, sedangkan total waktu pencetakan mencapai 15 jam 3 menit. Desain modular memudahkan pembongkaran, pemasangan servo, dan penggantian komponen apabila diperlukan.

3.2 Karakterisasi Flex Sensor

Hasil pengujian menunjukkan bahwa ketiga flex sensor menghasilkan perubahan nilai ADC yang konsisten terhadap perubahan posisi tekukan. Sensor shoulder memiliki rata-rata 21,2 ADC pada posisi lurus, kemudian meningkat menjadi 87,1 ADC pada 30°, 115,4 ADC pada 60°, 172,0 ADC pada 90°, dan 200,6 ADC pada 120°. Sensor elbow menghasilkan rata-rata 295,4 ADC pada 90° atas, 201,3 ADC pada 60° atas, 178,7 ADC pada 30° atas, 157,7 ADC pada posisi lurus, 138,0 ADC pada 30° bawah, 126,8 ADC pada 60° bawah, dan 112,8 ADC pada 90° bawah. Pada gripper, rata-rata ADC sebesar 22,0 diperoleh pada posisi terbuka dan 70,3 pada posisi tertutup.

Tabel 4. Ringkasan kalibrasi flex sensor

Joint terkendali	Posisi referensi	ADC tertinggi	ADC terendah	Kecenderungan
Shoulder	0°–120°	200,6	21,2	Meningkat saat tekukan bertambah
Elbow	90° atas–90° bawah	295,4	112,8	Menurun dari posisi atas ke bawah
Gripper	Terbuka–tertutup	70,3	22,0	Meningkat saat gripper menutup



Gambar 6. Perubahan Nilai ADC Flex Sensor Pada Posisi Kalibrasi.

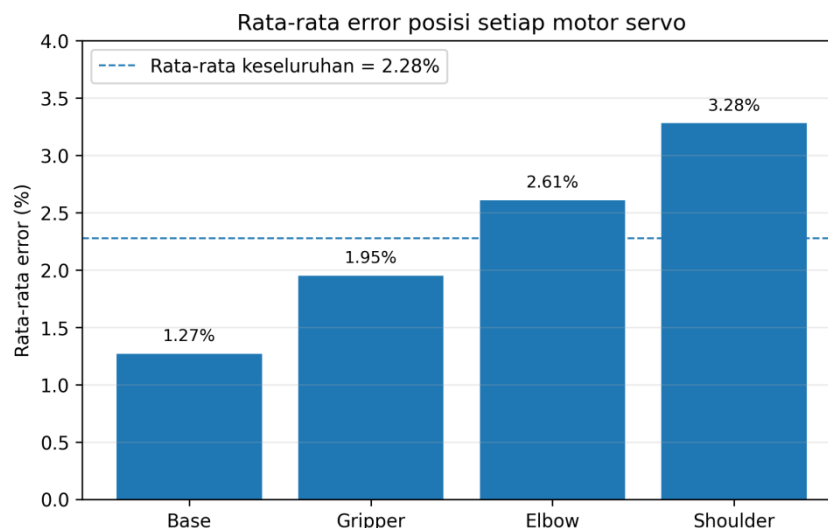
Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai ADC *shoulder* meningkat dari posisi lurus menuju tekukan 120° , sedangkan nilai ADC *elbow* menurun dari posisi 90° atas menuju 90° bawah. Nilai *gripper* meningkat dari posisi terbuka menuju tertutup. Perbedaan arah dan rentang pembacaan tersebut menunjukkan bahwa setiap *flex sensor* memerlukan kalibrasi dan parameter *mapping* tersendiri agar gerakan robot mengikuti input pengguna secara konsisten.

3.3 Akurasi Posisi Motor Servo

Rata-rata *error* posisi setiap aktuator ditampilkan pada Tabel 5. Servo *base* menghasilkan *error* terendah sebesar 1,27%, diikuti *gripper* 1,95%, *elbow* 2,61%, dan *shoulder* 3,28%. Rata-rata *error* keseluruhan sebesar 2,28%. Seluruh nilai rata-rata *error* berada di bawah 5%, sehingga empat motor servo dinilai mampu mengikuti perintah sudut untuk kebutuhan *training kit* dasar.

Tabel 5. Rata-Rata Error Posisi Aktuator Robot Arm

Aktuator	Rata-rata error (%)	Interpretasi
Base	1,27	Error terendah
Gripper	1,95	Akurasi posisi baik
Elbow	2,61	Akurasi posisi memadai
Shoulder	3,28	Error tertinggi akibat beban mekanik
Rata-rata keseluruhan	2,28	Sesuai untuk praktikum dasar



Gambar 7. Rata-Rata Error Posisi Empat Aktuator.

Servo *shoulder* memiliki *error* tertinggi karena menanggung beban struktur lengan, motor berikutnya, *gripper*, dan kabel. Servo *base* memperoleh *error* terendah karena gerak horizontalnya ditopang *bearing* dan tidak secara langsung menanggung momen beban lengan. Karena sistem menggunakan *open-loop control*, Arduino tidak dapat melakukan koreksi terhadap penyimpangan mekanik yang terjadi setelah servo menerima beban.

3.4 Pengujian Fungsi Terintegrasi

Pengujian fungsi terintegrasi dilakukan dengan mengoperasikan setiap perangkat input dan mengamati respons aktuator pada kondisi catu daya dan program yang sama. Pengujian mencakup gerakan *joystick* ke kiri dan kanan, tekukan siku, gerakan pergelangan, serta kondisi jari ditekuk dan diluruskan.

Tabel 6. Hasil Pengujian Fungsi Terintegrasi

No.	Input yang diberikan	Respons yang diharapkan	Status
1	Joystick digerakkan ke kiri	Base berputar ke kiri	Berhasil
2	Joystick digerakkan ke kanan	Base berputar ke kanan	Berhasil
3	Siku ditekuk	Shoulder mengikuti tekukan	Berhasil
4	Pergelangan digerakkan	Elbow mengikuti posisi tangan	Berhasil
5	Jari ditekuk	Gripper menutup	Berhasil
6	Jari diluruskan	Gripper membuka	Berhasil

Seluruh enam fungsi menghasilkan respons sesuai rancangan sehingga keberhasilan pengujian fungsi terintegrasi mencapai 100%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa hubungan antara *joystick*, *flex sensor*, Arduino Mega, dan motor servo telah bekerja sesuai konfigurasi input-output.

3.5 Pengujian Keseluruhan Sistem Pick and Place

Pengujian keseluruhan dilakukan melalui tugas *pick and place* menggunakan penghapus seberat 15 g. Objek dipindahkan dari titik A ke titik B sejauh 10 cm sebanyak sepuluh percobaan dengan objek, posisi awal, catu daya, dan program yang sama. Percobaan dinyatakan berhasil apabila robot mampu mengambil, memindahkan, dan meletakkan objek pada titik tujuan tanpa terjatuh.

Tabel 7. Hasil Pengujian Sistem Pick And Place

Percobaan	Mengambil	Memindahkan	Meletakkan	Waktu (s)	Hasil akhir
1	Berhasil	Berhasil	Berhasil	25.61	Berhasil
2	Berhasil	Berhasil	Berhasil	24.85	Berhasil
3	Berhasil	Berhasil	Berhasil	26.34	Berhasil
4	Gagal	-	-	9.22	Gagal
5	Berhasil	Berhasil	Berhasil	25.90	Berhasil
6	Berhasil	Berhasil	Berhasil	24.15	Berhasil
7	Gagal	-	-	8.45	Gagal
8	Berhasil	Berhasil	Berhasil	27.10	Berhasil
9	Berhasil	Berhasil	Gagal	23.80	Gagal
10	Berhasil	Berhasil	Berhasil	25.45	Berhasil
Ringkasan	Massa: 15 g	Jarak: 10 cm	Berhasil: 7/10	Rata-rata: 25.63 s	Tingkat: 70%

Berdasarkan sepuluh kali pengujian, *robot arm* berhasil menyelesaikan tujuh percobaan dan gagal pada tiga percobaan sehingga persentase keberhasilan sistem mencapai 70%. Rata-rata waktu penyelesaian pada percobaan yang berhasil adalah 25,63 detik. Kegagalan pada percobaan ke-4 dan ke-7 terjadi pada tahap mengambil objek, sedangkan kegagalan pada percobaan ke-9 terjadi pada tahap meletakkan objek. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem telah mampu melakukan pemindahan objek, tetapi kestabilan penjepitan dan ketepatan pelepasan masih perlu ditingkatkan.

3.6 Evaluation

Tahap evaluasi dilakukan untuk mengetahui tingkat kemudahan perakitan dan penggunaan *training kit*. Evaluasi melibatkan sepuluh mahasiswa Program Studi Teknologi Rekayasa Komputer menggunakan sembilan butir pernyataan Skala Likert. Aspek yang dinilai meliputi pengenalan komponen, kemudahan perakitan, tata letak, *wiring*, kesesuaian sambungan, pemasangan servo, integrasi sensor-mikrokontroler-aktuator, kerapian mekanik, dan instalasi elektronik.

Tabel 8. Hasil Evaluasi Pengguna Terhadap Training Kit

Aspek evaluasi	Skor (maksimum 50)
Pengenalan komponen	46
Kemudahan perakitan	44
Pemahaman tata letak	46
Kemudahan wiring	37
Kesesuaian lubang dan sambungan	46
Kemudahan pemasangan servo	44
Pemahaman integrasi sensor-mikrokontroler-aktuator	47
Kerapian dan proporsi mekanik	43
Kemudahan instalasi elektronik	44
Total	397/450 (88,22%)

Total skor evaluasi adalah 397 dari skor maksimum 450 atau 88,22%, sehingga termasuk kategori Sangat Baik. Skor tertinggi terdapat pada pemahaman hubungan sensor, mikrokontroler, dan aktuator sebesar 47 dari 50, sedangkan kemudahan *wiring* memperoleh skor terendah sebesar 37 dari 50. Hasil tersebut menunjukkan bahwa *training kit* dapat digunakan sebagai media praktikum, tetapi tata kabel dan panduan koneksi masih perlu diperjelas.

3.7 Pembahasan Keseluruhan

robot arm berbasis Arduino sebagai media praktikum vokasi, keseluruhan hasil pengujian membuktikan bahwa sistem ini berhasil direalisasikan dan berfungsi dengan baik. Kebaruan (*novelty*) yang ditawarkan, yakni penggunaan kendali masukan hibrida—tiga *flex sensor* untuk pembacaan gestur fleksibel (*shoulder*, *elbow*, *gripper*) dan satu *joystick* untuk kontrol stabilitas rotasi (*base*)—terbukti bekerja secara maksimal dengan tingkat keberhasilan uji fungsi terintegrasi mencapai 100%. Rata-rata *error* posisi aktuator yang hanya sebesar 2,28% menegaskan bahwa instrumen fisik *flex sensor* ini jauh lebih konsisten dibandingkan metode kendali *Computer Vision* yang rentan terhadap perubahan cahaya (Fauzan & Pramudita, 2024). Pencapaian ini menguatkan temuan Vij (2025) dan Song et al. (2023) yang menyatakan bahwa *flex sensor* memberikan interaksi fisik yang jauh lebih stabil dan intuitif dalam simulasi kendali mekatronika.

Pada pengujian fungsional secara keseluruhan (*pick and place*), sistem ini mampu mencapai tingkat keberhasilan sebesar 70%. Kegagalan 30% yang terjadi pada tahapan krusial seperti menjepit dan meletakkan merupakan batasan logis dari penggunaan *open-loop control* tanpa *feedback* sensor posisi, yang sejalan dengan temuan Zhu et al. (2021) terkait tantangan kestabilan penanganan objek pada lengan robot. Meski demikian, dari sudut pandang pedagogis, kelemahan sistem mekanik ini justru memberikan nilai tambah pada proses praktikum. Mahasiswa dapat mengamati secara langsung efek dari ketiadaan sistem umpan balik terhadap beban mekanik, misalnya melihat mengapa *servo shoulder* memiliki tingkat *error* tertinggi (3,28%) akibat menahan beban keseluruhan lengan terbanyak.

Pencapaian skor evaluasi kelayakan pengguna sebesar 88,22% (kategori Sangat Baik) memvalidasi dampak positif *training kit* ini terhadap peningkatan kompetensi mahasiswa vokasi. Jika dibandingkan dengan modul pendidikan robotika terdahulu yang belum menggunakan konfigurasi lengan multi-sendi (Febrianto, 2024; Ramadhani et al., 2022), *training kit* ini menawarkan pengalaman praktis yang lebih menyeluruh. Pemanfaatan teknologi cetak tiga dimensi (Sutisna et al., 2022) dengan desain yang modular sukses memfasilitasi mahasiswa dalam kegiatan bongkar-pasang komponen, pengenalan transmisi mekanik, dan perangkaian *wiring* elektronik secara interaktif. Integrasi yang komprehensif antara inovasi input (*flex sensor* dan *joystick*), struktur mekanik terbuka, dan kode program mikrokontroler inilah yang menjadikan purwarupa ini sangat relevan untuk menjembatani celah antara teori dan praktik (Alamsyah et al., 2022; Ciungan et al., 2025).

4. Simpulan

Penelitian ini telah berhasil membangun *training kit robot arm 4 DOF* berbasis Arduino yang menawarkan kebaruan melalui integrasi kendali masukan hibrida—tiga *flex sensor* dan satu *joystick*—serta desain mekanik modular berbasis cetak tiga dimensi. Berbeda dengan media pembelajaran robotika terdahulu yang umumnya menggunakan kendali kamera (*vision*) yang rentan cahaya atau sebatas modul statis tanpa rancangan lengan multi-sendi, inovasi purwarupa ini terbukti memberikan kestabilan interaksi fisik yang lebih intuitif dengan rata-rata *error* aktuator yang sangat rendah, yakni 2,28%. Fabrikasi mekanik menggunakan filamen PLA membutuhkan material sebanyak 462,65 g dengan waktu pencetakan 15 jam 3 menit. Keandalan sistem dibuktikan melalui pengujian fungsi terintegrasi yang mencapai keberhasilan 100% dan pengujian fungsional *pick and place* dengan tingkat keberhasilan 70% dalam waktu rata-rata 25,63 detik. Evaluasi kelayakan pengguna yang meraih skor 88,22% (kategori Sangat Baik) menegaskan kontribusi utama penelitian ini, yaitu terciptanya media praktikum yang komprehensif, terbuka, dan aplikatif untuk meningkatkan kompetensi mahasiswa. Meskipun demikian, pengembangan lanjutan masih diperlukan untuk menyempurnakan kestabilan jepitan *gripper*, merapikan manajemen tata kabel, serta mengadopsi sistem sensor umpan balik posisi untuk menutupi kelemahan arsitektur *open-loop*.

5. Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Program Studi Teknologi Rekayasa Komputer, Politeknik Pertanian Negeri Payakumbuh, atas dukungan akademik dan fasilitas penelitian. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Trinovita Zuhara Jingga, S.Kom., M.Kom., dan Hendra, M.Kom., atas bimbingan dan masukan selama pengembangan *training kit*.

6. Daftar Pustaka

- Alamsyah, N., Arfandy, H., Rahma, R. M., & Darmawansyah, A. (2022). Rancang Bangun Trainer Kit Berbasis Arduino Sebagai Media Pembelajaran Pada Mata Kuliah Robotika. *Jurnal Teknologi Dan Komputer (JTEK)*, 2(02), 190–195. <https://doi.org/10.56923/jtek.v2i02.97>
- Awad, D. H., Baghdady, A. A., Morsi, A. A., Ezz El-Din, A. A., Waleed, A., Hisham, M., AbdelKader, N. A., Gokh, Y., Fekry, M., Samy, A. M., Milad, M. M., & Asham, A. D. (2025). A Review of Multi-Degree of Freedom Robot Arm Research. *Advanced Sciences and Technology Journal*, 2(2), 1–29. <https://doi.org/10.21608/astj.2025.345449.1031>
- Ciungan, D.-A., Miş, E.-O., Rusu, D.-Ştefan, Bratosin, I.-A., Popovici, A.-F., Popovici, R., Goga, N., Goga, M., Pomană, L.-N., Bordea, C.-A., Popescu, B., Stan, A.-V., & Neacşu, R.-F. (2025). Enhancing IoT Education Through Hybrid Robotic Arm Integration: A

- Quantitative and Qualitative Student Experience Study. *Applied Sciences*, 15(19), 10537. <https://doi.org/10.3390/app151910537>
- Dwi Ramadhany, M., Hartayu, R., Setyadjit, K., Hariadi, B., Agung Swarga, L., & Adriaty Basyarach, N. (2025). Pengembangan Kontrol Robot ARM 4 DOF Berbasis Robot Operating System (ROS). *Seminar Nasional Fortei Regional*, 7.
- Fauzan, R. N., & Pramudita, R. (2024). Controlling a 4 Degree of Freedom (4 DoF) Robot Arm with Hand Gestures Using Computer Vision Technology for Manufacturing Processes. *Journal of Electrical, Electronic, Information, and Communication Technology*, 6(2), 48. <https://doi.org/10.20961/jeeict.6.2.90823>
- Febrianto, R. (2024). Design and Development of a 5-DOF SCARA Robot Arm for Robotics Education in a STEM Laboratory. *The Indonesian Journal of Computer Science*, 13(5). <https://doi.org/10.33022/ijcs.v13i5.4373>
- Kalem, E. (2025, February 21). 3D Printed Robot Arm Assembly - YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=CHV36hu9z3E>
- Kurniawan, Y. (2024). The Development Media for Interactive Learning using Bots Api of Telegram Social Media on Harmonic Motion Materials for Class X of Senior High School Pengembangan Media Pembelajaran Interaktif dengan Bot Api Media Sosial Telegram pada Materi Gerak Harmonik Sederhana Kelas X SMA. *Physics Education Journal*, 7(1), 1–12. <http://jurnal.unipa.ac.id/index.php/kpej>
- Ramadhani, D. E., Nugroho, Y. S., Achmad, F., & Ningrum, L. E. C. (2022). Pengembangan Bahan Ajar Sar (Stamp Automatic Robot) Sebagai Pendukung Pembelajaran Kurikulum 2013 Di Smk Negeri 1 Tambelangan. *Jurnal Pendidikan Teknik Elektro*, 11(03), 359–368. <https://doi.org/10.26740/jpte.v11n03.p359-368>
- Sofwatillah, Risnita, Jailani M. Syahrani, & Saksitha Deassy Arestya. (2024). Teknik Analisis Data Kuantitatif Dan Kualitatif Dalam Penelitian Ilmiah. (Vol. 15 No. 2 (2024): JURNAL GENTA MULIA). <https://ejournal.stkipbbm.ac.id/index.php/gm>
- Song, D., Chen, X., Wang, M., & Xiao, X. (2023). Flexible sensors for mechatronic engineering education. *Sensors International*, 4, 100236. <https://doi.org/10.1016/j.sintl.2023.100236>
- Sutisna, N. A., Suwarno, P., & Firmansyah, A. R. (2022). Rancang Bangun Robot Arm Berbasis Raspberry Pi Menggunakan Printer 3d. In *Journal of Mechanical Engineering and Mechatronics* (Vol. 7, Number 2). <https://doi.org/10.33021/jtmm.v7i2.3885>
- Vij, R. (2025). Development and User Testing of Gesture-Controlled Robotic Arms: A Secondary Study. *International Journal For Multidisciplinary Research*, 7(6). <https://doi.org/10.36948/ijfmr.2025.v07i06.58481>
- Zhu, F., Wang, L., Wen, Y., Yang, L., Pan, J., Wang, Z., & Wang, W. (2021). Failure Handling of Robotic Pick and Place Tasks With Multimodal Cues Under Partial Object Occlusion. *Frontiers in Neurorobotics*, 15. <https://doi.org/10.3389/fnbot.2021.570507>