Perancangan Lengan Robot Las dengan Sistem Kontrol Otomatis Menggunakan Teknologi Arduino Uno

Design of a Robotic Welding Arm with an Automatic Control System Using Arduino Uno Technology

Silvester Seran Klau[1], Denny Prumanto[2], Nurkim[3]
[1,2,3]Teknik Mesin, Universitas Krisnadwipayana, Jakarta

*Corresponding author: Vesteramz597@gmail.com

ABSTRAK

Proses pengelasan pada skala laboratorium sering kali menghadapi kendala akurasi akibat getaran posisi dan keterbatasan ruang uji coba. Penelitian ini bertujuan untuk merancang prototipe mekanisme lengan robot las articulated 5 Degrees of Freedom (DoF) berbasis Arduino Uno menggunakan metode VDI 2222. Metode ini diterapkan untuk memastikan proses perancangan berjalan secara terarah, terstruktur, dan sistematis melalui penyusunan daftar periksa (checklist) serta daftar tuntutan (requirement list) yang terbagi menjadi kriteria Demand (D) dan Wish (W). Parameter teknis utama yang ditetapkan meliputi batas tinggi vertikal maksimal 217 mm, panjang lengan efektif 100 mm, gerakan sendi putar penuh, serta toleransi defleksi ujung torch saat berhenti di bawah 1 mm. Sistem kendali robot memanfaatkan driver servo PCA9685 untuk mengatur 5 motor servo secara simultan menggunakan sinyal PWM, dikombinasikan dengan penerapan algoritma Inverse Kinematics untuk konversi koordinat posisi secara real-time. Evaluasi aspek manufaktur mengarahkan penggunaan material aluminium dengan sistem sambungan knock-down menggunakan baut dan mur. Hasil analisis perancangan menunjukkan bahwa struktur robot yang kompak dan portabel mampu menjaga stabilitas torch las tanpa goyangan, mengeksekusi jalur kontinu kontur siku secara presisi, serta efisien dari segi biaya produksi untuk skala edukasi.

Keywords: Lengan Robot Las, VDI 2222, Arduino Uno, Inverse Kinematics

ABSTRACT

Welding processes on a laboratory scale often face accuracy constraints due to positional vibrations and limited testing space. This study aims to design a prototype of an articulated 5 Degrees of Freedom (DoF) welding robot arm mechanism based on Arduino Uno using the VDI 2222 method. This method is applied to ensure the design process runs in a directed, structured, and systematic manner through the preparation of a checklist and a list of requirements divided into Demand (D) and Wish (W) criteria. The main technical parameters set include a maximum vertical height limit of 217 mm, an effective arm length of 100 mm, full swivel joint movement, and a torch tip deflection tolerance when stopped below 1 mm. The robot control system utilizes a PCA9685 servo driver to control 5 servo motors simultaneously using PWM signals, combined with the application of the Inverse Kinematics algorithm for real-time position coordinate conversion. Evaluation of manufacturing aspects directs the use of aluminium process with a knock-down connection system using bolts and nuts. The design analysis results show that the compact and portable robot structure is capable of maintaining the stability of the welding torch without wobbling, executing a continuous path of angled contours precisely, and is cost-effective for educational production.

Keywords: *Welding Robot Arm, VDI 2222, Arduino Uno, Inverse Kinematics*

ARTICLE IDENTIFIERS

ORIGINAL ARTICLE
Vol. 9 No. 10, 2026
Pages 4893-4906
DOI: 10.56338/jks.v9i10.12051

ARTICLE HISTORY

Received: 16 August 2026
Revised: 14 September 2026
Accepted: 11 October 2026

CC BY-SA 4.0

PENDAHULUAN

Industri manufaktur merupakan salah satu sektor yang sangat penting dalam perekonomian global. Dalam industri manufaktur, proses pengelasan merupakan salah satu proses yang sangat krusial, terutama dalam produksi komponen-komponen yang memerlukan presisi dan kualitas tinggi. Teknologi arduino dikatakan sebagai sebuah platform dengan sifat open-source yang dapat digunakan untuk merancang dan memanfaatkan sebuah prototipe development board berbasis mikrokontroler. Platform ini sangan membantu untuk memperkenalkan orang-orang yang tertarik pada elektronik dan perancangan.

Lengan robot las merupakan salah satu jenis robot industri yang digunakan untuk melakukan proses pengelasan pada berbagai jenis material. Proses pengelasan merupakan salah satu proses yang sangat penting dalam industri manufaktur, karena dapat mempengaruhi kualitas dan kekuatan produk. Dalam beberapa tahun terakhir, teknologi robotika telah berkembang pesat dan telah digunakan dalam berbagai aplikasi industri, termasuk pengelasan. Namun, sistem kontrol lengan robot las yang ada saat ini masih memiliki beberapa kelemahan, seperti kurangnya fleksibilitas dan akurasi. Sistem kontrol yang ada saat ini juga masih banyak bergantung pada operator manusia, sehingga dapat mempengaruhi kualitas dan efisiensi proses pengelasan.

Motor Servo adalah alat atau aktuator rotasi (motor) yang dibuat dengan sistem kontrol umpan balik tertutup (servo), sehingga bisa diatur 3 untuk menentukan dan memastikan sudut posisi poros keluaran motor. Motor servo terdiri dari motor DC, rangkaian gear, sirkuit kontrol, dan potensiometer. Rangkaian gear yang terpasang pada poros motor DC berfungsi untuk memperlambat kecepatan putaran poros serta meningkatkan torsi motor servo, sementara potensiometer yang mengubah resistansinya saat motor berputar berperan sebagai penentu batas posisi putaran poros motor servo. Dengan demikian, diperlukan perancangan sistem kontrol otomatis yang lebih canggih dan efektif untuk meningkatkan efisiensi dan kualitas proses pengelasan. Selain itu, perancangan sistem kontrol otomatis untuk lengan robot las juga dapat membantu meningkatkan keselamatan kerja dan mengurangi resiko kecelakaan kerja

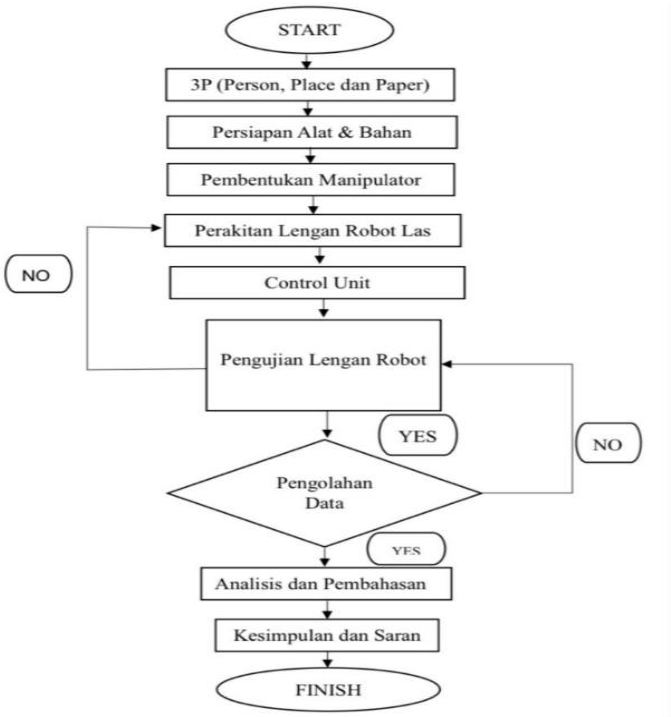
Metode VDI 2222 sangat membantu dalam mempermudah proses perancangan sebuah produk, mendukung pembelajaran bagi pemula, dan meningkatkan produktivitas perancang dalam mencari solusi terbaik [2] Untuk mendapatkan solusi yang optimal dalam pemecahan masalah, diperlukan tahapan kerja yang terstruktur. Pekerjaan yang dilakukan dapat 5 dirumuskan dengan tepat dan hubungan antara fungsi produk teknis yang dirancang dapat dipahami dengan jelas [2]. Selain itu, metode VDI 2222 juga mempermudah dalam pengambilan keputusan melalui sistem evaluasi konsep yang terstruktur.

Dalam penelitian ini, akan dirancang sebuah lengan robot las dengan system control otomatis menggunakan teknologi arduino. Otomatisasi dalam proses pengelasan memiliki peranan krusial untuk meningkatkan ketepatan, efisiensi, dan keamanan saat bekerja. Lengan robot memungkinkan proses pengelasan dilakukan dengan konsisten tanpa mengakibatkan kelelahan bagi operator. Alasan pemilihan arduino uno adalah karena biayanya yang rendah, mudah untuk diprogram, dan cukup memenuhi kebutuhan pengendalian dasar.

CC BY-SA 4.0

METODE PENELITIAN

Flowchart/Alur Penelitian



Gambar 1 Flowchart/Alur Penelitian

Tempat dan Waktu Pelaksanaan

Untuk mempermudah mengidentifikasi sumber data, Suharsimi Arikunto mengklasifikasikan menjadi 3 P, yaitu person, place dan paper.

1) P = Person, sumber data berupa orang, dimana sumber data yang dapat memberikan data berupa jawaban lisan melalui wawancara atas jawaban tertulis melalui angket.
2) P = Place, sumber data berupa tempat, yaitu sumber data yang menyajikan tampilan berupa keadaan diam dan bergerak, misalnya ruangan, kelengkapan, alat, wujud benda, aktifitas, kinerja, kegiatan belajar-mengajar dan lain sebagainya.
3) P = Paper, sumber data berupa simbol, yaitu sumber data yang menyajikan tanda-tanda berupa huruf, angka, gambar, atau simbol – simbol lain lebih mudahnya bisa disebut dengan metode dokumentasi.

Tempat dan pelaksanaan serta pengujian tugas akhir ini, dilakukan di: PT. Multikarya Sinardinamika.

Metode Pengumpulan Data

1 Studi Literatur

Selama membuat penelitian ini, studi literatur diambil dari beberapa sumber seperti buku-buku refrensi, atau jurnal yang berhubungan dengan perencanaan system pengadukan dan system distribusi sebagai dasar untuk memperoleh dasar teori dan melengkapi perancangan.

2 Wawancara

Wawancara merupakan teknik pengumpulan data yang dilakukan melalui tatap muka dan tanya jawab langsung antara pengumpul data terhadap narasumber/sumber data. Adapun sumber data peneliti yaitu pakar-pakar yang sudah lama berkecimpung dan ahli dalam bidang elektronika dan robotika.

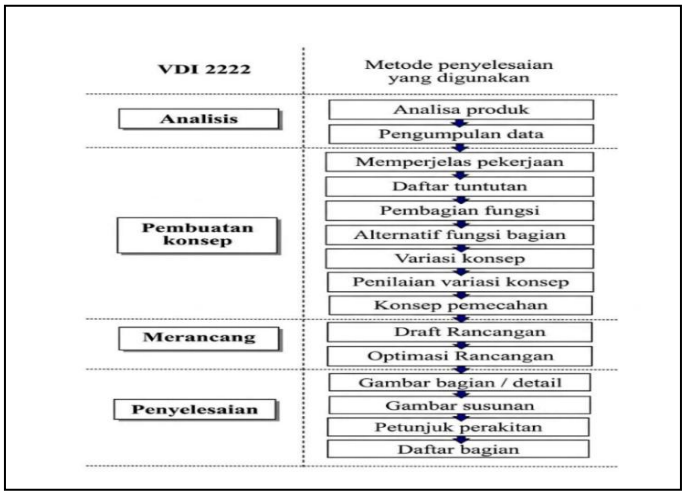
CC BY-SA 4.0

Prosedur Pengujian atau Prosedur Optimasi atau Formulasi dan Optimasi

Langka-Langka Kerja Dalam Metode VDI 2222

Perancangan Lengan robot las arduino menggunakan metode *verein deutsche inginieuer* (VDI) 2222 (Persatuan Insinyur Jerman). Metode VDI 2222 adalah sebuah metode pendekatan sistematik terhadap desain untuk merumuskan dan mengarahkan berbagai macam metode desain yang semakin berkembang akibat dari kegiatan riset.

Proses perancangan menggunakan metode VDI 2222 juga memiliki tujuan agar perancangan lengan robot las dirancang sesuai.



Gambar 2 Tahapan Metode VDI 2222

Persiapan Alat dan Bahan

1 Plat almunium robot lengan
   A. Plat dudukan dan sambungan *(bracket/plate)*
   B. Plat dudukan motor servo
   C. Baut-baut dudukan servo (M3/M4)
2 Motor servo type MG996R
3 Board Arduino UNO R3
4 Driver servo PCA9685
5 Sensor Ultrasonic
6 Kabel Jumper dan Kabel USB
7 Bearing
8 PSU 5V/10A
9 Obeng plus dan Tang

Pembentukan Manipulator

Pada tahap ini dilakukan pembuatan komponen mekanik lengan robot las sesuai gambar kerja hasil desain detail. Material yang digunakan adalah aluminium, setelah seluruh komponen manipulator selesai dilakukan pemeriksaan dimensi dan kebersihan komponen gamba kerja.

Perakitan Lengan Robot Las

Setelah komponen manipulator kemudian dirangkai menjadi struktur lengan robot 5 DOF. Berikut adalah langkah-langkah merakit lengan robot las dengan arduino, proses pertama adalah merakit dudukan dasar pada lengan robot arduino dengan menyambungkan 2 dudukannya kemudian pada bagian lubang dudukan lengan robot akan dipasangkan dengan baut-baut dengan menggunakan obeng dan tang. Tahapan berikutnya akan

CC BY-SA 4.0

dipasangkan dudukan motor servo dengan menggunakan baut. Proses perakitan robot lengan dimulai dari memasang motor servo 0 pada bagian bawah, lalu dilanjutkan persendian pada lengan robot dengan menggunakan motor servo 1, 2, 3, 4. Sedangkan untuk las lengan robot diletakan motor servo 5. Dalam merakit gunakan obeng plus dan tang. Pada saat memasang motor servo pada persendian robot maka wajib menggunakan bearing supaya pergerakan sendinya menjadi lancar. Pemasangan plat dan motor servo harus benar karena kalau tidak benar maka pergerakan sendinya bisa saja tidak lancar atau tidak sesuai.

Perakitan Control Unit

Control unit disusun dengan memasang mikrokontroler, drive servo dan catu daya kedalam box kontrol sesuai skema rangkaian listrik. Kabel yang keluaran servo dari lengan robot dihubungkan ke pin mikrokontroler mulai driver servo, sedangkan catu daya dihubungkan untuk mensuplay tegangan kerja sistem. Control unit berfungsi sebagai pusat kendali yang mengatur sudut putar setiap servo berdasarkan program yang diunggah ke mikrokontroler.

Pengujian Lengan Robot Las

Pada tahap ini dilakukan pengujian fungsi untuk memastikan lengan robot las dapat bekerja sesuai dengan perancangan. Jika hasil pengujian tidak sesuai, maka proses akan kembali ke tahap perakitan untuk dilakukan perbaikan. Jika hasil pengujian sesuai, maka dilanjutkan ke tahap berikutnya.

Pengolahan Data (evaluasi dan dokumentasi)

Untuk menganalisis data hasil pengujian. Apabila data tidak valid, pengujian diulang kembali hingga diperoleh data yang valid.

HASIL DAN DISKUSI

Tahapan-Tahapan Perancangan Mekanisme Lengan Robot Las

Untuk perancangan, metode VDI 2222 digunakan karena memiliki tahapan kerja yang sistematis, jelas, dan terstruktur untuk mengembangkan suatu produk, mulai dari mengidentifikasi kebutuhan, menyusun konsep, memilih rancangan alternatif, dan menyelesaikan desain akhir. Metode ini dipilih untuk memungkinkan proses perancangan prototipe lengan robot las dilakukan secara terarah. Ini berarti bahwa setiap komponen yang digunakan seperti *mikrokontroler* arduino uno, *driver* servo PCA9685, motor servo sebagai aktuator sendi, hingga simulasi torch las dapat disesuaikan dengan fungsinya, keterbatasan ruang uji coba, dan tujuan rancang bangun yang diinginkan untuk membuktikan konsep gerak sebelum diproduksi dalam skala industri.

Daftar Periksa

Dalam proses perancangan berlangsung, perancang sering menghadapi tantangan ketika merumuskan dan menjabarkan spesifikasi desain secara rinci.

Tabel 1 Daftar Periksa

No.	Aspek	Parameter
1	Fungsi Utama	Jalur las titik terbentuk rapi dan posisi *torch* tidak goyang selama proses deposisi
2	Kinematika	Ke 5 sendi putar bergerak penuh sesuai koordinat tanpa macet
3	Geometri	Tinggi vertikal maksimal ≤ 217 mm, panjang lengan efektif = 100mm, struktur kompak, mudah dipindahkan di meja lab
4	Stabilitas	Base diam (tidak bergerak/terangkat) saat lengan berakselerasi maksimum dan defleksi/penyimpangan posisi ujung torch saat berhenti < 1 mm

CC BY-SA 4.0

5	Manufaktur	1. Komponen mekanis dapat dibongkar pasang kembali tanpa merusak struktur rangka 2. Seluruh komponen U-long, L-shape, bracket tercetak presisi dan ringan.
6	Sistem kontrol	5 motor servo bergerak bersamaan merespons perubahan nilai duty *cycle PWM* dan koordinat X, Y, Z dari input berhasil dikonversi menjadi sudut sendi secara *real-time.*
7	Biaya	Biaya relatif ekonomis terjangkau.

Penguraian Tugas Perancangan

Proses perancangan harus dilakukan dengan cara yang teratur dan mengikuti norma teknik untuk menghasilkan produk yang berkualitas tinggi. Kualitas dari suatu alat sangat bergantung pada akurasi perancangan serta pemikiran yang menyeluruh mengenai berbagai aspek teknik, fungsi, keselamatan kenyamanan pengguna, dan efisiensi dalam proses produksi.

A. Aspek Teknik
B. Aspek Ergonomis
C. Aspek Ekonomis

Daftar Spesifikasi (Daftar Kehendak)

Berdasarkan analisis kebutuhan diidentifikasikan proses pengelasan, maka penyusunan ini dituangkan ke dalam *requirement list* (daftar tuntutan). Kriteria perancangan diklasifikasikan menjadi dua aspek, yaitu:

1. *Demand* (D) yang berarti tuntutan wajib yang harus terpenuhi
2. *Wish* (W) yang berarti keinginan opsional demi mengoptimalkan performa alat.

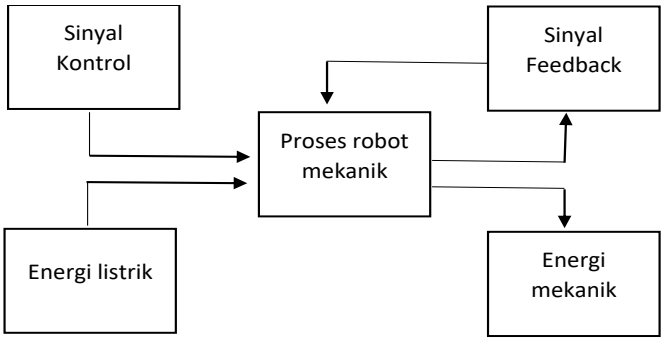
Tabel 2 Daftar Tuntutan *(Requirement List)* Lengan Robot Las

No	Aspek	Uraian	D/W
1	Fungsi Utama	Menggerakkan *end-effector* ke koordinat presisi dan menjaga stabilitas torch las.	D
2	Kinematika	Menggunakan konfigurasi articulated 5 DoF: sumbu 1 (rotasi horizontal), sumbu 2 & 3 (pitch jangkauan), dan sumbu 4 & 5 *(wrist pitch/roll).*	D
3	Geometri	Memiliki tinggi vertikal maksimal 217 mm dengan jangkauan efektif lengan 100 mm.	D
		Didesain dalam dimensi kompak dan portabel untuk skala edukasi laboratorium.	W
4	Stabilitas	Memiliki struktur base kuat penahan inersia dan mampu meredam getaran mekanis saat akselerasi servo instan.	D
		Memiliki toleransi defleksi atau penyimpangan posisi ujung torch di bawah 1 mm.	W
5	Manufaktur	Rangka utama menggunakan plat aluminium 2 mm	D
		Menerapkan sambungan mekanis antar-braket bersifat *knock-down* menggunakan baut dan mur.	D
6	Sistem kontrol	Menerima sinyal kendali posisi sudut berbasis PWM dari mikrokontroler secara simultan.	D
		Mampu memproses perhitungan algoritma kinematika balik *(inverse kinematics).*	W

CC BY-SA 4.0

Fungsi Keseluruhan dan Sub Struktur

Pada tahap ini dilakukan proses pemecahan masalah dengan menggunakan diagram blok yang memperlihatkan keterkaitan antara input dan output sistem. Diagram ini untuk menentukan fungsi bagian utama pada lengan robot las arduino. gambar 4.1 merupakan fungsi keseluruhan pada lengan robot las arduino.



Gambar 3. Fungsi Keseluruhan

Inputnya:

1. Sinyal Kontrol: Perintah dari *operator/mikrokontroler* buat ngatur gerak robot
2. Energi Listrik: Sumber daya dari baterai atau adaptor buat ngidupin aktuator dan sistem kontrol

Outputnya:

1. Energi Mekanik: Gerakan, torsi, gaya yang dihasilkan robot buat kerja
2. Sinyal Feedback: Data sensor balik ke kontrol, kayak posisi, kecepatan, beban

a) Mencari Alternatif Fungsi Solusi

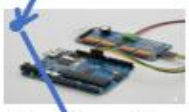
Untuk menentukan prinsip solusi yang tepat, dikembangkan rancangan fungsi pada sistem lengan robot las. Setiap alternatif disertai dokumentasi guna menunjukan kelebihan dan kekurangan sebagai pemilihan desain teknik. Berikut adalah tabel kelebihan dan kekurangan dari setiap pilihan komponen yang disebutkan untuk membangun lengan robot.

b) **Varian Konsep**

Dua alternatif konsep yang berbeda dikembangkan setelah kombinasi fungsi bagian terpilih disatukan dalam satu rancangan sistem lengan robot las. Pengembangan variasi konsep ini dilakukan untuk mengakomodasi kebutuhan utama dan preferensi tambahan selama tahap evaluasi, sehingga diperoleh rancangan lengan robot las yang paling sesuai dengan kriteria.

CC BY-SA 4.0

Tabel 3 Varian Konsep

No.	Alternatif Fungsi Bagian	Prinsip Solusi		
		Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3
A	Sumber Aktuator motor penggerak	 Servo MG996R 10 kg.cm	 Motor servo DS3218 20 kg.cm	 Motor Stepper NEMA 17
B	Struktur pangkal lengan robor	 Aluminium 2 mm	 Akrilik 5 mm	 PLA 3D Print
C	Kontrol otak robot	 Arduino Uno + PCA9685	 Arduino Mega	 ESP32 + PCA9685
D	*End-Effector* (alat kerja)	 *Mock-up Welding Torch*	 *Gripper 2-Jari*	 *Suction Cup*
E	*Power Supply* (Catu Daya)	 PSU 6V/10A	 PSU 12V/5A	 Adaptor 7.4V/3A

Pada hasil tabel diatas maka dapat terbentuk suatu kombinasi prinsip kerja yang dihasilkan, yaitu sebagai berikut:

Perpaduan Varian 1 : 1A, 1B, 1C, 1D, 1E

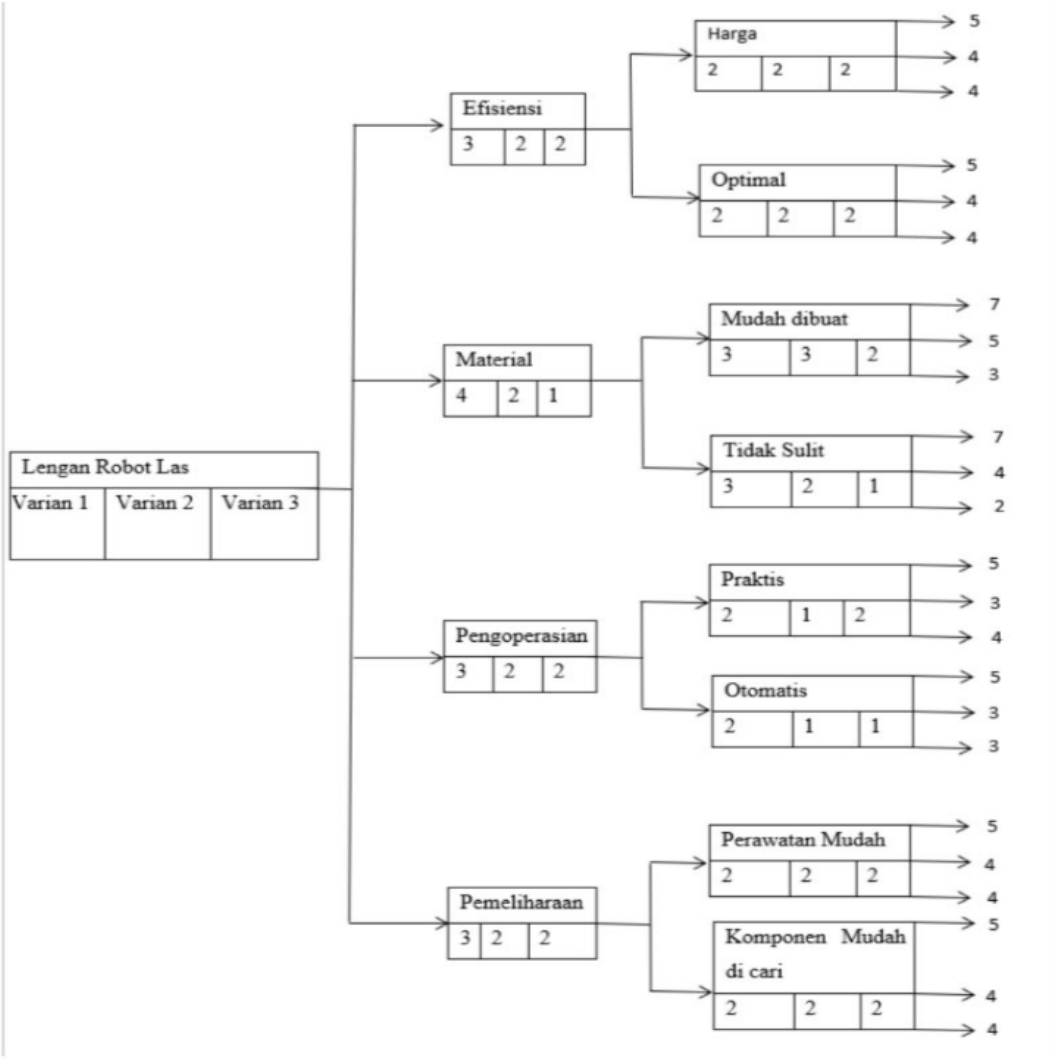
Perpaduan Varian 2 : 1A, 2B, 2C, 3D, 3E

Perpaduan Varian 3 : 1A, 2B, 3C, 1D, 3E

Langkah selanjutnya adalah melakukan seleksi dan penyusunan terhadap masing-masing dari ketiga varian konsep yang terdapat pada perancangan lengan robot las.

CC BY-SA 4.0

4	3	2	1
Sangat baik	Baik	Cukup baik	Kurang baik



Tabel 4. Varian dengan nilai persentase

	Nilai ideal	Nilai Varian 1	Nilai Varian 2	Nilai Varian 3
Nilai total	64	44	31	28
Nilai total %	100%	68%	48%	43%

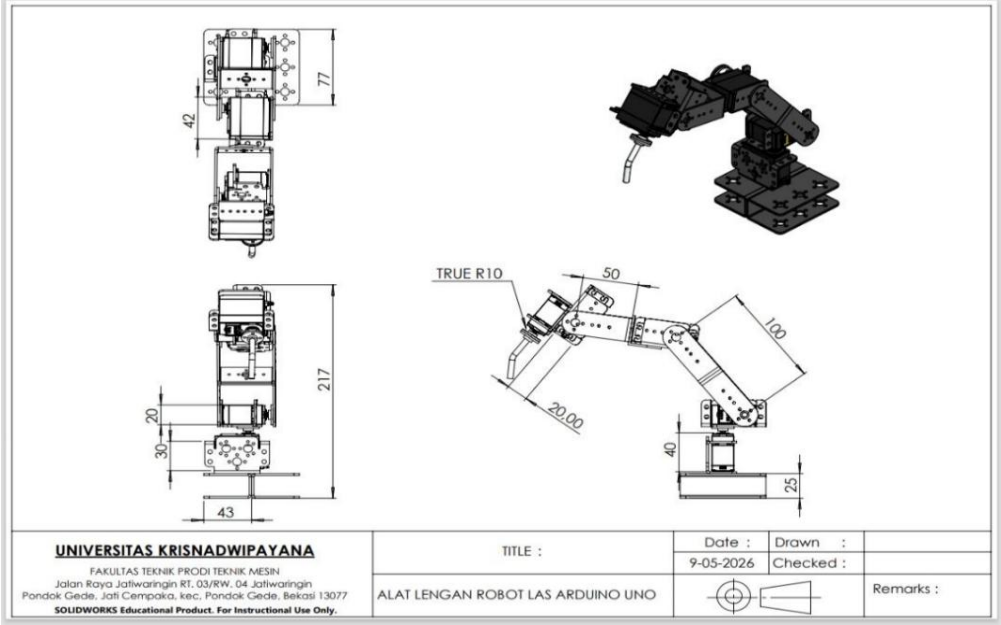
Varian yang dipilih adalah varian dengan nilai persentase yang paling mendekati 100% setelah penilaian pohon objektif dari tiga versi yang berbeda. Varian 1, yang memperoleh skor total 44, atau persentase 68%, dipilih berdasarkan hasil penilaian.

Desain Mekanik

Robot pada gambar merupakan robot lengan *(robotic arm)* dengan 5 derajat kebebasan *(degree of freedom/DOF)* yang dirancang untuk melakukan pergerakan mengambil, memindahkan, dan meletakkan objek

CC BY-SA 4.0

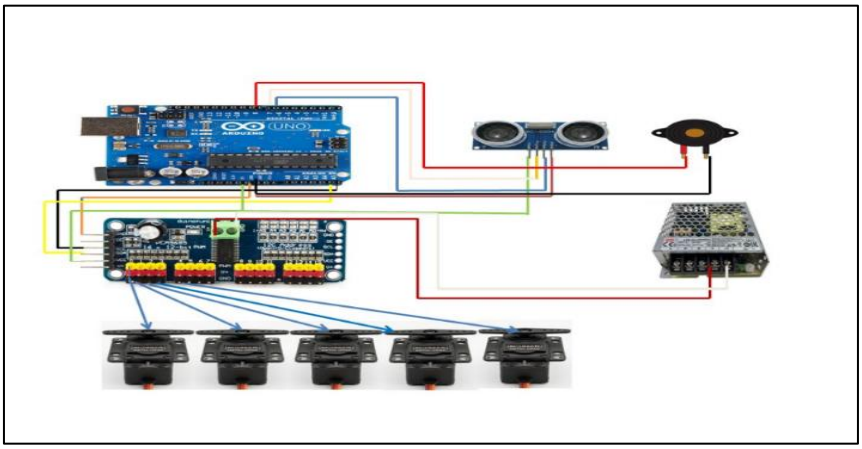
dalam area kerja tertentu. Robot ini menggunakan sistem sambungan mekanik yang digerakkan motor servo pada setiap joint sehingga mampu menghasilkan gerakan menyerupai lengan manusia. Berikut merupakan gambar assemly mekanik lengan robot las menggunakan solid works.



Gambar 4. Desain mekanik lengan robot las

Proses Wiring

Proses wiring sistem pengendali dilakukan dengan menghubungkan arduino uno, driver PCA9685, sensor ultrasonik HC-SR04, buzzer, dan lima unit motor servo sesuai dengan diagram rangkaian. Komunikasi data antara arduino dan driver servo mengandalkan jalur I2C (SDA dan SCL) atau Pin A4 dan A5 untuk efisiensi pin mikrokontroler. Demi menjaga stabilitas sistem, jalur daya untuk aktuator dipisahkan secara khusus 5 motor servo disuplai langsung oleh *power supply switching eksternal* melalui terminal blok PCA9685 untuk menghindari fenomena *voltage drop* pada arduino. Setiap kabel dipasang secara rapi dan aman dengan memperhatikan polaritas positif-negatif serta fungsi pin kontrol, kemudian dilakukan pengujian fungsionalitas untuk memastikan seluruh komponen servo dan sensor dapat beroperasi secara sinkron dan stabil.

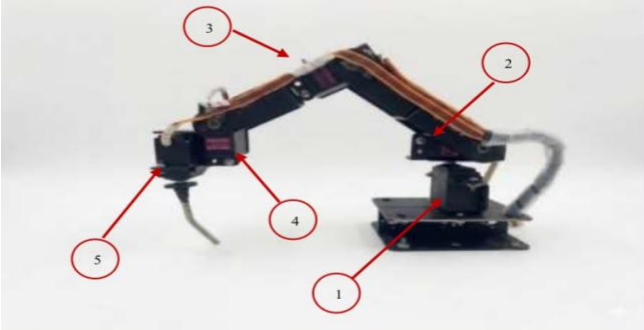


Gambar 5 Sistem kelistrikan

CC BY-SA 4.0

Hasil Perakitan Mekanik

Hasil perakitan menunjukan bahwa seluruh komponen mekanik dapat dipasang dengan baik dan membentuk struktur robot lengan yang kokoh.



Gambar 6 Lengan Robot Las

1. Base Joint (Sendi Basis)
   Fungsi: Memutar robot secara horizontal (kiri-kanan) hingga 180°.
   Alasan MG996R: Kuat memutar seluruh beban di atasnya secara halus berkat *double ball bearing*.
2. Shoulder Joint (Sendi Bahu)
   Fungsi: Menggerakkan lengan utama naik-turun (vertikal).
   Alasan MG996R: Menahan beban gravitasi terberat agar lengan tidak turun sendiri saat diam.
3. Elbow Joint (Sendi Siku)
   Fungsi: Menekuk dan menjulurkan lengan untuk mengatur jangkauan.
   Alasan MG996R: Gir logamnya tahan hentakan saat lengan bergerak memanjang dan memendek.
4. Wrist Pitch (Sendi Pergelangan)
   Fungsi: Mengatur sudut menunduk atau mendongak ujung las.
   Alasan MG996R: Mengunci posisi *torch* agar tidak bergeser akibat tarikan kabel las.
5. End Effector (Orientasi Torch)
   Fungsi: Memutar dan mengarahkan posisi akhir ujung las.
   Alasan MG996R: Meminimalkan getaran (*backlash* kecil) agar hasil jalur las lurus dan rapi.

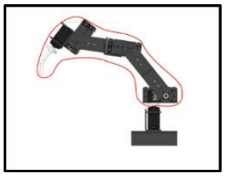
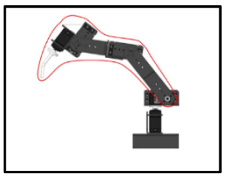
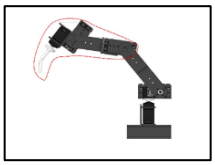
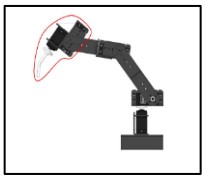
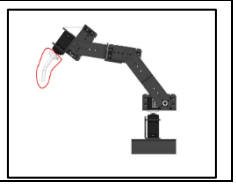
Analisis Kebutuhan Torsi dan Daya Motor

Perhitungan Kebutuhan Torsi dan Daya Motor Setiap Sendi

Perhitungan kebutuhan torsi dan daya pada setiap sendi lengan robot 5 DOF dilakukan berdasarkan data massa dan panjang link dari hasil perancangan mekanik. Torsi statis dihitung dengan mempertimbangkan beban link yang bekerja pada pusat massa masing-masing link. Untuk mengakomodasi beban dinamis saat robot bergerak, digunakan faktor kejut impact factor sebesar 1,5. Kecepatan sudut servo yang digunakan adalah 60° rad/s atau setara 1,047 rad/s sesuai datasheet servo MG996R pada kondisi tanpa beban. Tabel 5. merupakan parameter sendi lengan robot las

CC BY-SA 4.0

Tabel 5 Parameter sendi lengan robot

No.	Sendi lengan robot	Berat (g)	Panjang (cm)	Gambar
1	*Base*	376 g	24 cm	
2	*Shoulder*	302 g	24 cm	
3	*Elbow*	254 g	14 cm	
4	*Wrist*		5 cm	
5	*Torch*	5 g	5 cm	

Berdasarkan perhitungan dapat dilihat bahwa torsi dinamis terbesar terjadi pada sendi base sebesar 6,77 kg.cm dengan kebutuhan daya 0,696 watt. Sendi Shoulder memerlukan torsi dinamis 5,43 kg.cm dengan daya 0,558 watt. Torsi dan daya menurun pada sendi *elbow* dan *wrist* seiring berkurangnya massa dan panjang link. Sendi Torch hanya memerlukan torsi yang sangat kecil karena panjang link 5 cm. Total kebutuhan daya 5 servo adalah 1,638 watt, sehingga digunakan catu daya 5V 10A untuk operasi stabil. Hasil perhitungan kebutuhan torsi dan daya setiap sendi disajikan pada Tabel 6 berikut.

Tabel 6 Kebutuhan Torsi dan Daya Setiap Sendi

No.	Kebutuhan torsi dan daya	Torsi Statis	Torsi dinamis	Daya (P)
1	Sendi *Base*	4,51 kg.cm	6,77 kg.cm	0,696 Watt
2	Sendi *Shoulder*	3,62 kg.cm	5,43 kg.cm	0,558 Watt
3	Sendi *Elbow*	1,78 kg.cm	2,67 kg.cm	0,274 Watt
4	Sendi *Wrist*	0,38 kg.cm	0,57 kg.cm	0,059 Watt
5	*Torch*	0,01 Kg.cm	0,015 Kg.cm	0,051 Watt

CC BY-SA 4.0

Berdasarkan Tabel 6 dapat dilihat bahwa torsi dinamis terbesar terjadi pada sendi Base sebesar 6,77 kg.cm dengan kebutuhan daya 0,696 watt. Sendi *shoulder* memerlukan torsi dinamis 5,43 kg.cm dengan daya 0,558 watt. Torsi dan daya semakin menurun pada sendi *elbow, wrist*, dan *torch* seiring berkurangnya massa dan panjang link. Sendi *torch* memerlukan torsi yang paling kecil karena panjang link bernilai 5 cm, sehingga dayanya bernilai 0,051 watt. Kebutuhan daya total untuk menggerakkan 5 servo secara bersamaan adalah 1,638 watt. Dengan mempertimbangkan arus spike saat servo start, maka digunakan catu daya 5V 10A agar operasi robot dapat berjalan stabil.

Kecepatan gerak lengan robot

Kecepatan sudut ω

$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}\ x\ \frac{\pi}{180°}$(rad/s) ……..…[pustaka 30, hal 250-265]

Kecepatan linier ideal tangensial V_{Ideal}

V_{Ideal}= $\omega\ x\ r\ (m/s\ )$ ……..…….[pustaka 30, hal 165-185]

Kecepatan linier aktual berbeban (V_{aktual}

$V_{aktual} = V_{Ideal}\ x\ (1 - faktor\ reduksi\ inersia) m/s$……..…….[pustaka 30, hal 85-110]

Diketahui:

Total Panjang Lengan (r)	: 24 cm + 14 cm + 5 cm = 43 cm =0,43 m
Sumber Daya	: Tegangan 5V / Arus 10A
Penggerak	: Motor Servo MG996R
Waktu Tempuh Sudut Δt pada Tegangan 5V	: 0,165 detik per 60°

Perhitungan:

A. Kecepatan sudut ω

Diketahui:

$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}\ x\ \frac{\pi}{180°}$(rad/s)

$\omega = \frac{60°}{0{,}165}\ x\ \frac{3{,}14159}{180°}$(rad/s)

$\omega = 363{,}63\ x\ 0{,}01745 = 6{,}35\ rad/s$

$RPM\ 6{,}35\ X\ \frac{60}{2\pi} = 60{,}6\ RPM$

B. Kecepatan linier ideal tangensial V_{Ideal}

Diketahui:

V_{Ideal}= $6{,}35\ rad/s\ x\ 0{,}43m = 2{,}73\ m/s$

C. Kecepatan linier aktual berbeban (V_{aktual})

Diketahui:

$V_{aktual} = 2{,}73\ m/s\ x\ (1 - 0{,}25)$

$V_{aktual} = 2{,}73\ m/s\ x\ 0{,}75 = 2{,}05\ m/s$

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, pemodelan 3D CAD solidworks, serta analisis mekanika teknik terhadap Lengan Robot Las 5 DoF berbasis arduino uno, dapat disimpulkan beberapa poin utama sebagai berikut:

Metodologi dan parameter desain: Penerapan metode VDI 2222 terbukti efektif dalam menyusun tahapan perancangan secara sistematis. Berdasarkan daftar periksa teknis, struktur robot berhasil didesain secara portabel dan kompak untuk skala edukasi laboratorium dengan tinggi total 217 mm, jangkauan maksimal 150 mm, dan berat total sasis sebesar 550 gram.

Kekakuan struktural dan stabilitas: Penggunaan dua unit dudukan robot dengan ketebalan total 25 mm pada bagian *base* berfungsi optimal sebagai beban pengimbang (*counterweight*). Komponen ini berhasil mencegah

CC BY-SA 4.0

fenomena *tip-over* (robot terguling) saat lengan menjangkau radius maksimum dan mampu meredam getaran mekanis sehingga nilai defleksi ujung *torch* dapat ditekan di bawah 1 mm.

Keamanan sambungan mekanis: Hasil analisis kekuatan elemen pengikat pada titik kritis (*base*) menunjukkan bahwa penggunaan 4 buah baut M4 sangat aman. Tegangan geser aktual yang terjadi pada kondisi statis hanya sebesar 0.91 MPa (SF = 264) dan pada kondisi dinamis dengan faktor kejut 1,5 naik menjadi 1,365 MPa (SF = 175,82). Nilai ini berada jauh di bawah batas tegangan geser izin baut baja kelas 4.6 yang sebesar 0,91 MPa.

Kecukupan torsi dan daya aktuator: Nilai torsi dinamis puncak terjadi pada sendi *base* sebesar 6,77 kg·cm dan sendi s*houlder* sebesar 5,43 kg·cm. Penggunaan motor servo tipe MG996R (torsi maksimum 11 kg·cm pada tegangan 5V) dinyatakan sangat aman karena beban kerja dinamis tertinggi hanya memakan 61,5% dari kapasitas total pabrikan.

Efisiensi Sistem Kelistrikan: Total daya mekanis murni yang dibutuhkan oleh ke 5 sendi untuk bergerak simultan adalah 1,638 watt. Penggunaan sistem manajemen kabel di dalam profil *U-Long* serta integrasi catu daya eksternal 5V 10A (30 watt) mampu menjamin stabilitas suplai daya dan mencegah terjadinya *drop* tegangan akibat arus kejut (*inrush current*).

SARAN

Pengujian saat ini hanya melakukan simulasi pengelasan. Penelitian lanjutan perlu dilakukan pengelasan sungguhan pada material stainless dan baja, serta variasi kecepatan dan arus las untuk menentukan parameter optimal.

Prototipe belum dilengkapi sensor gas, asap, dan sistem interlock darurat. Untuk pengembangan lebih lanjut, integrasikan sensor MQ-2 dan rangkaian emergency stop sesuai standar K3 laboratorium.

DAFTAR PUSTAKA

[1] J. Nasir, F. Nisa, and Y. Yuniarthe, Robot dan Microcontroller. Gita Lentera, 2024.
[2] N. Misgi, P. Adi, P. Winata, A. Nugraha, and A. S. Hutama, “Jurnal Kajian Teknik Mesin,” vol. 8, pp. 58–69, 2023.
[3] D. A. Rianto, S. Assegaf, and E. Fernando, “Perancangan Aplikasi Sistem Informasi Geografis (Sig) Lokasi Minimarket Di Kota Jambi Berbasis Android,” J. Ilm. Media SISFO, vol. 9, no. 2, pp. 295–304, 2015.
[4] B. Maruli et al., Elemen mesin untuk teknik industri.
[5] R. Adhiharto, A. B. Nusantoro, A. I. Komara, and D. H. Wigenaputra, “Perancangan Ulang dan Analisa Mesin Benchtop Injection Molding dengan Metode VDI 2222,” vol. 5, no. 2, pp. 153–168, 2023.
[6] A. A. Pranata, E. Harli, and K. Ismanti, “Perancangan Sistem Pengenalan Hewan Berbasis Augmented Reality Pada Android,” J. Rekayasa Komputasi Terap., vol. 1, no. 03, 2021.
[7] H. W. Sastya, P. Musa, M. Artiyasa, F. M. Dewadi, D. A. Nggego, and Irwanto, Robotika. PT Global Eksekutif Teknologi, 2023.
[8] K. Ogata, Modern Control Engineering, 5th ed. Pearson Education, 2019.
[9] G. Franklin, J. D. Powell, and A. Emami-Naeini, Feedback Control of Dynamic Systems, 7th ed. 2018.
[10] M. P. Groover, Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing, Global Edition. in Law Express. Pearson Education, 2015. [Online]. Available: https://books.google.co.id/books?id=83CHCgAAQBAJ

CC BY-SA 4.0