

Analisis Respon Titik *End Effector* Arm Robot Spot Welding Dengan Titik Spesimen

Ngakan Putu Dhani Aditya Putra, I Nyoman Budiarsa dan I Made Parwata
Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Makalah ini menganalisis respons *end effector* lengan robot dalam kaitannya dengan titik target spesimen, dengan fokus pada mengatasi kesenjangan dalam aplikasi lengan robot untuk pengelasan titik dan pemanfaatannya dalam *batch production* dan sistem *group technology*. Studi ini mengusulkan desain baru yang meningkatkan fungsionalitas mesin las titik manual, membuka jalan bagi pengembangan sistem las titik robotik multi-lengan. Melalui desain ini, berbagai posisi target potensial diuji, menunjukkan akurasi respons rata-rata lengan dalam mencapai target dengan kesalahan di bawah 0,05, yang menunjukkan tingkat akurasi lebih dari 95%. Temuan ini menunjukkan bahwa prototipe lengan robotik ini cocok untuk aplikasi pengelasan titik dengan akurasi tinggi. Namun, perlu dicatat bahwa lengan ini masih bersifat semi-otomatis dan belum mencapai otomatisasi penuh.

Kata kunci: Respon *End Effector*, Lengan Robot, Akurasi Target, Las Titik

Abstract

This paper analyzes the response of the robotic arm's end effector in relation to the specimen target point, focusing on addressing the gap in robotic arm applications for spot welding and their utilization in batch production and group technology systems. The study proposes a novel design that enhances the functionality of manual spot welding machines, paving the way for the development of multi-arm robotic spot welding systems. Through this design, various potential target positions were tested, revealing an average response accuracy of the arm in achieving the target with an error below 0.05, indicating an accuracy rate of over 95%. These findings demonstrate that the robotic arm prototype is suitable for spot welding applications with high accuracy. However, it is noted that the arm remains semi-automatic and has not yet achieved full automation.

Keywords: *End Effector Response, Robotic Arm, Target Accuracy, Spot Welding*

1. Pendahuluan

Penggunaan pengelasan logam tidak sejenis (seperti baja dan material yang lebih ringan) pada bodi kendaraan semakin meningkat untuk mengurangi bobot bodi kendaraan sekaligus meningkatkan perlindungan terhadap korosi dan ketahanan terhadap benturan [1]. *Spot welding* merupakan proses pengelasan yang digunakan untuk menyambungkan material logam melalui penerapan panas dan tekanan pada titik tertentu [2]. Saat ini, banyak industri masih mengandalkan mesin *spot welding* manual yang memiliki keterbatasan dalam hal kecepatan, akurasi, dan konsistensi hasil [3]. Hal ini menjadi tantangan besar, terutama dalam penerapan produksi batch dan sistem teknologi kelompok (*group technology*), yang menuntut efisiensi tinggi dan hasil yang seragam.

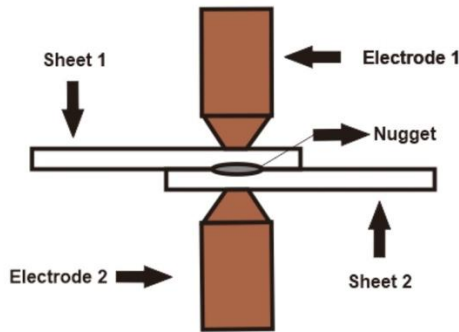
Untuk mengatasi masalah tersebut, pengembangan robot lengan (*robotic arm*) menjadi solusi potensial, khususnya dalam mendukung otomatisasi proses *spot welding* [2]. Robot lengan memiliki kemampuan untuk menjangkau dan berinteraksi dengan titik spesimen secara presisi, yang penting dalam menjaga kualitas sambungan las [4]. Namun, salah satu tantangan utama dalam aplikasi ini adalah memastikan respons titik *end effector* robot lengan terhadap target spesimen memiliki akurasi yang tinggi [3].

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis respons titik *end effector* lengan robot terhadap titik spesimen dengan berbagai variasi posisi target. Desain yang diusulkan merupakan penyempurnaan dari sistem *spot welding* manual, yang dirancang untuk membuka jalan menuju pengembangan sistem robot multi-lengan di masa depan. Pengujian prototipe dilakukan untuk mengevaluasi tingkat akurasi dan rata-rata respons lengan robot, dengan fokus pada error yang dihasilkan dalam mencapai target.

2. Dasar Teori

2.1 Spot Welding

Las titik atau bisa juga disebut *spot welding* merupakan suatu metode pengelasan di mana dua permukaan logam yang berkontak digabungkan melalui panas yang dihasilkan dari resistansi terhadap arus listrik [2]. Proses ini umumnya digunakan untuk menyatukan dua lembaran logam dengan cara menekan dan memanaskan wilayah yang akan digabungkan [2].



Gambar 1. Proses Pengelasan Spot Welding [5]

2.2 Arm Robot

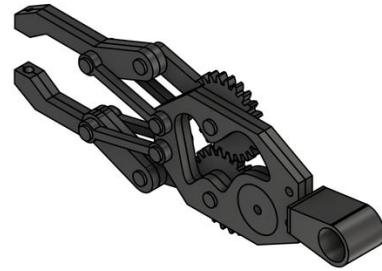
Robot lengan adalah salah satu jenis robot yang dirancang untuk meniru fungsi lengan manusia, sehingga dapat digunakan untuk melakukan berbagai tugas di lingkungan industri maupun non-industri [6]. Robot lengan terdiri dari serangkaian segmen (*links*) yang dihubungkan oleh sendi (*joints*) untuk memungkinkan pergerakan. Pergerakan ini dapat berupa translasi atau rotasi yang dikendalikan oleh aktuator, seperti motor listrik atau sistem pneumatik. Robot lengan sering digunakan dalam aplikasi yang membutuhkan presisi tinggi, seperti pengelasan, perakitan, dan manipulasi material [3].



Gambar 2 Arm Robot [7]

2.3 End Effector

End effector adalah komponen pada ujung lengan robot yang berinteraksi langsung dengan objek atau lingkungan [6]. Fungsi *end effector* bergantung pada aplikasi yang diinginkan, seperti penjepit (*gripper*), alat las (*welding tool*), atau alat potong (*cutting tool*) [6]. Dalam konteks pengelasan titik (*spot welding*), *end effector* dirancang untuk menahan elektroda dan menerapkan panas serta tekanan yang diperlukan untuk menciptakan sambungan las yang kuat.



Gambar 3 Gun Spot Welding

2.4 Akurasi

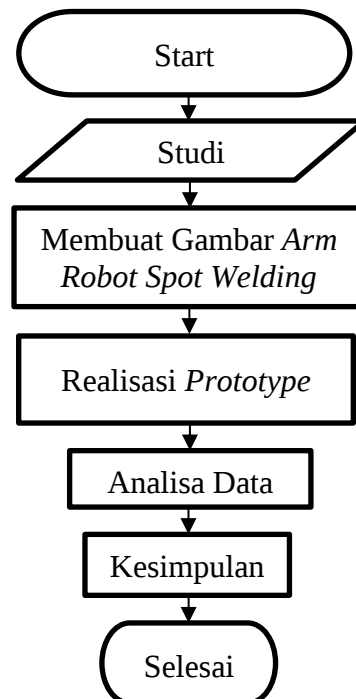
Untuk mencari nilai akurasi dari *end effector* dan data respon arm, digunakan persentase kesalahan rata – rata (*mean percentage error*) atau akurasi untuk setiap pasangan data. Digunakan rumus sebagai berikut:

$$100\% - \left(\frac{|Titik\ Spesimen - Respon\ Arm|}{Titik\ Spesimen} \right) \times 100\% \quad (1)$$

Yang nantinya akan dibandingkan dengan nilai rata – rata yang didapatkan dengan rumus:

$$100\% - \left(\frac{|Titik\ Spesimen - \frac{Titik\ Spesimen + Respon\ Arm}{2}|}{Titik\ Spesimen} \right) \quad (2)$$

3. Metode Penelitian



Gambar 4 Diagram Alir Penelitian

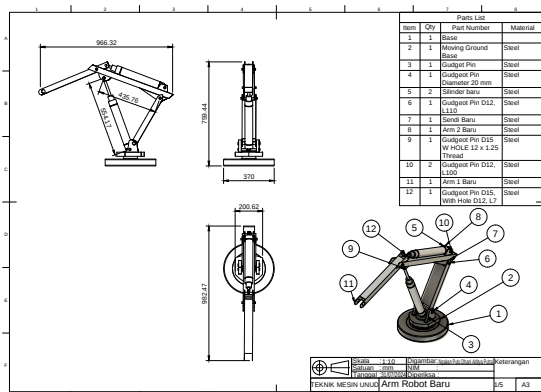
Pembuatan desain ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Autodesk Fusion 360.

Proses perancangan ini dilakukan sesuai dengan tahapan pengembangan produk desain mekanik, rekayasa elektrik, dan teknik manufaktur. Prototipe yang dikembangkan dirancang untuk terintegrasi dengan Robot Manipulator 3 AXIS pada sumbu x, y, dan z. Desainnya melalui beberapa tahap, seperti persiapan, pemodelan, produksi, dan optimasi fungsi. Pengujian dilakukan dalam kondisi nyata untuk memastikan kinerja sistem. Data yang dikumpulkan mencakup 6 sampel titik pada *end effector* untuk memverifikasi akurasi pengelasan. Seluruh aktivitas perancangan dilaksanakan di Laboratorium ImeeT Udayana, termasuk pengujian mekanik pada sistem guna mencapai target teknologi yang diinginkan.

3.1. Alat Penelitian

Perlengkapan yang digunakan sebagai pendukung penelitian ini harus disiapkan sesuai dengan persyaratan dan spesifikasi yang telah ditetapkan. Berikut adalah beberapa peralatan yang digunakan dalam penelitian ini:

1. Arm Robot
2. Power Supply
3. Terminal Block
4. Kompresor
5. Solenoid Valve
6. Motor DC
7. Meteran
8. Busur Derajat

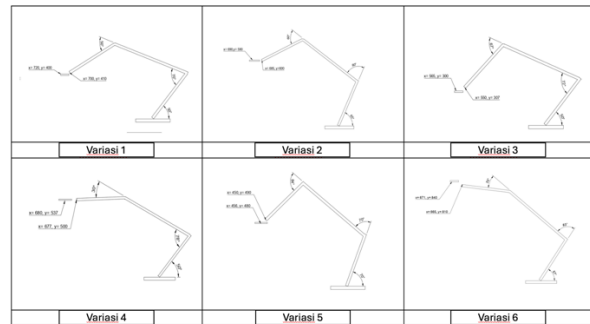


Gambar 5 Desain Rancangan Arm Robot

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Respon Titik End Effector Arm Robot Terhadap Spesimen

Dilakukan perhitungan untuk mencari akurasi dengan menggunakan persentase kesalahan rata – rata (*mean percentage error*) yang nantinya akan dibandingkan dengan nilai rata – rata dari arm. Berikut perhitungan mencari *mean percentage error*:



Gambar 6 Variasi 1 - 6

- Variasi 1 dengan sudut (50°, 70°, 50°)

x

Titik spesimen: 720

Respon End Effector: 700

$$\text{Akurasi: } 100\% - \left(\frac{|720-700|}{720} \times 100\% \right) = 97,22\%$$

y

Titik spesimen: 400

Respon End Effector: 410

$$\text{Akurasi: } 100\% - \left(\frac{|400-410|}{400} \times 100\% \right) = 97,50\%$$

Penyimpangan akhir:

$$\sqrt{(720 - 700)^2 + (400 - 410)^2} = 22,36$$

- Variasi 2 (65°, 80°, 60°)

x

Titik spesimen: 690

Respon End Effector: 685

$$\text{Akurasi: } 100\% - \left(\frac{|690-685|}{690} \times 100\% \right) = 99,28\%$$

y

Titik spesimen: 590

Respon End Effector: 600

$$\text{Akurasi: } 100\% - \left(\frac{|590-600|}{590} \times 100\% \right) = 98,31\%$$

Penyimpangan akhir:

$$\sqrt{(690 - 685)^2 + (590 - 600)^2} = 11,18$$

- Variasi 3 (50°, 72°, 67°)

x

Titik spesimen: 565

Respon End Effector: 550

$$\text{Akurasi: } 100\% - \left(\frac{|565-550|}{565} \times 100\% \right) = 97,35\%$$

y

titik spesimen: 300

Respon End Effector: 307

$$\text{Akurasi: } 100\% - \left(\frac{|300-307|}{300} \times 100\% \right) = 97,67\%$$

Penyimpangan akhir:

$$\sqrt{(565 - 550)^2 + (300 - 307)^2} = 16,55$$

- **Variasi 4 (50°, 78°, 30°)**

x

Titik spesimen: 680

Respon *End Effector*: 677

$$\text{Akurasi: } 100\% - \left(\frac{|680-677|}{680} \times 100\% \right) = 99,56\%$$

y

titik spesimen: 537

Respon *End Effector*: 500

$$\text{Akurasi: } 100\% - \left(\frac{|537-500|}{537} \times 100\% \right) = 93,11\%$$

Penyimpangan akhir:

$$\sqrt{(680 - 677)^2 + (537 - 500)^2} = 37,12$$

- **Variasi 5 (70°, 70°, 84°)**

x

Titik spesimen: 456

Respon *End Effector*: 450

$$\text{Akurasi: } 100\% - \left(\frac{|456-450|}{456} \times 100\% \right) = 98,68\%$$

y

titik spesimen: 480

Respon *End Effector*: 490

$$\text{Akurasi: } 100\% - \left(\frac{|480-490|}{480} \times 100\% \right) = 97,92\%$$

Penyimpangan akhir:

$$\sqrt{(456 - 450)^2 + (480 - 490)^2} = 11,18$$

- **Variasi 6 (57°, 83°, 33°)**

x

Titik spesimen: 671

Respon *End Effector*: 665

$$\text{Akurasi: } 100\% - \left(\frac{|671-665|}{671} \times 100\% \right) = 99,11\%$$

y

titik spesimen: 840

Respon *End Effector*: 810

$$\text{Akurasi: } 100\% - \left(\frac{|840-810|}{840} \times 100\% \right) = 96,43\%$$

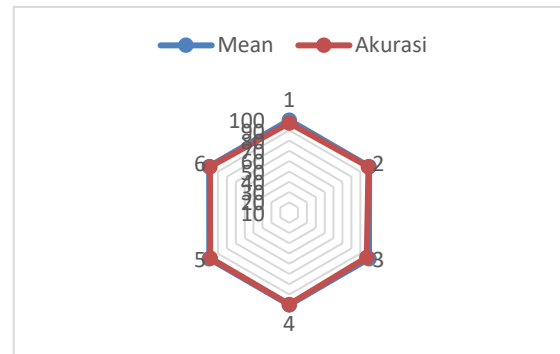
Penyimpangan akhir:

$$\sqrt{(671 - 665)^2 + (840 - 810)^2} = 30,40$$

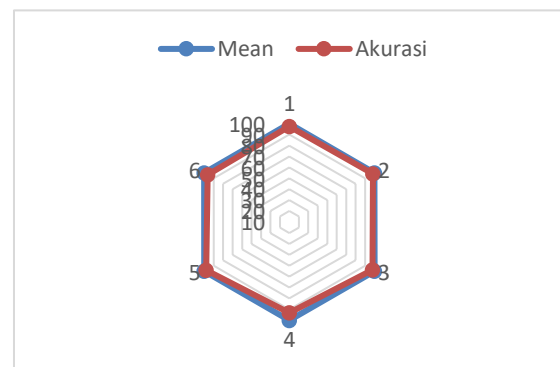
Dari data perhitungan pada x dan y diatas, penulis melakukan perbandingan dengan data eksperimen yang didapatkan secara langsung dengan data sebagai berikut:

Variasi	Titik Spesimen		Respon Arm Robot		Akurasi (%)		Rata - rata	
	x	y	x'	y'	x	y	x	y
1	720	400	700	410	97,22	97,5	99,98	100,01
2	690	590	685	600	99,28	98,31	99,99	100
3	565	300	550	307	97,35	97,67	99,98	100,01
4	680	537	677	500	99,56	93,11	99,99	99,96
5	456	480	450	490	98,68	97,92	99,99	100,01
6	671	840	665	810	99,11	96,43	99,99	99,98

Tabel 1 Data Dari Variasi 1 - 6



(a)



(b)

Gambar 7 (a) Grafik Analisis Posisi x Antara Titik Spesimen dan Respon Arm, (b) Grafik Analisis Posisi y Antara Titik Spesimen dan Respon Arm

5. Kesimpulan

Kinerja *prototype* lengan robot dirancang untuk membawa gun yang terpasang pada *end effector* guna melaksanakan proses *spot welding* pada posisi target yang telah ditentukan. Berdasarkan desain dengan berbagai variasi potensi posisi target, ditemukan bahwa respons dan rata-rata respons lengan robot dalam mencapai target memiliki tingkat error kurang dari 0,05 atau tingkat akurasi diatas 95%. Hal ini menunjukkan bahwa *prototype* lengan robot tersebut layak diaplikasikan untuk *spot welding* dengan tingkat akurasi yang baik.

Daftar Pustaka

- [1] I. N. Budiarsa, I. N. G. Antara, I. M. G. Karohika, I. W. Widhiada, and N. L. Watiniasih, "Identification Plastic Properties of Spot Welded Joints Using the Instrumented Indentation Technique," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Institute of Physics Publishing, May 2020. doi: 10.1088/1757-899X/811/1/012020.
- [2] Y. Andrianto, I. Maulana Fadhila, A. Sifa, and T. Endrawan, "PERANCANGAN MESIN ROCKER ARM SPOT WELDING."
- [3] T. S. Hong, M. Ghobakhloo, and W. Khaksar, "Robotic Welding Technology," in *Comprehensive Materials Processing: Thirteen Volume Set*, vol. 6, Elsevier, 2014, pp. V6-77-V6-99. doi: 10.1016/B978-0-08-096532-1.00604-X.
- [4] S. Uralath and H. R. Singh, "Selection and Applications of Automatic Spot Welding Methods," *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, vol. 11, no. 4, pp. 50–54, 2014, doi: 10.9790/1684-11445054.
- [5] A. Sifa, M. A. Ichwan, and T. Endramawan, "PENGARUH ARUS DAN WAKTU PADA MICRO RESISTANCE SPOT WELDING TERHADAP BAJA AISI 304 DAN ALUMINIUM PADUAN," *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 14, no. 1, pp. 115–125, May 2023, doi: 10.21776/jrm.v14i1.1100.
- [6] P. Singh, A. Kumar, and M. Vashisth, "Design of a Robotic Arm with Gripper & End Effector for Spot Welding," *Universal Journal of Mechanical Engineering*, vol. 1, no. 3, pp. 92–97, Oct. 2013, doi: 10.13189/ujme.2013.010303.
- [7] Rizky Setyawan, Prihadi Murdiyat, and Marson Ady Putra, "Rancang Bangun Robot Delta Berbasis Arduino Uno," *PoliGrid*, vol. 4, no. 1, Nov. 2023, doi: 10.46964/poligrid.v4i1.23.

Judul tugas akhir Perancangan Alat *Arm Robot* Untuk Aplikasi *Spot Welding*. Bidang penelitian yang diminati mengenai material dan pengelasan.



Prof. Ir. I Nyoman Budiarsa, M.T., Ph.D., IPU., ASEAN Eng. menyelesaikan Sarjana dan Magister di bidang Teknik Mesin di Universitas Udayana dan ITS Surabaya. Menyelesaikan Ph.D di Liverpool John Moores University. UK tahun 2013 di bidang *Mechanical engineering Materials* dan sampai sekarang aktif dalam penelitian, terutama dalam bidang *Welding engineering*, *FEM*, *Materials characterization*, *simulated based on instrumented indentation* serta *Corrosion inhibitor*.



Dr. I Made Parwata, ST., MT. menyelesaikan pendidikan S1 dan S2 di ITS. Pendidikan S3 diselesaikan di ITB pada tahun 2012. Bidang riset yang ditekuni adalah bidang tribologi meliputi mekanika kontak, keausan, gesekan, *lubrication* dan *atomization spray*.



Ngakan Putu Dhani Aditya Putra menyelesaikan program sarjana di Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana pada tahun 2025. Memiliki ketertarikan pada bidang Rekayasa Manufaktur.