

Optimasi Diameter Las Titik Menggunakan Metode Taguchi pada Proses *Resistance Spot Welding* Robotik di Mesin OTC Daihen

Imaduddin Ariefa¹, Komar Roni^{2*}, Rieky Handoko³, Anton Harseno⁴,
Sahal Ahmad Albab⁵, Muhammad Nanang Adi Saputra⁶

^{1,2,3,4,5,6} Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Semarang
Jl. Prof. Sudarto, Tembalang, Kec. Tembalang, Kota Semarang, Jawa Tengah 50275
*komar.roni@polines.ac.id

Abstract

Robotic welding technology has become a key component in modern manufacturing, particularly in automotive industries, due to its ability to deliver consistent weld quality and improve efficiency. However, weld quality remains highly dependent on process parameters such as current (Ampere), voltage, electrode movement speed, and heat input. In the context of resistance spot welding (RSW), optimizing these parameters is essential to achieve ideal weld diameters and ensure joint integrity. Previous research has primarily focused on tensile strength, overlooking diameter as a crucial quality metric in precision manufacturing. This study addresses that gap by investigating the influence of four welding parameters—current, voltage, speed, and heat input—on weld diameter using the Taguchi method. An experimental design with L8 orthogonal array was implemented to reduce the number of trials while maintaining robust analysis. The quality characteristic "Smaller is Better" was used to align with industrial diameter standards of 15–16 mm. Signal-to-noise (SN) ratios and ANOVA were applied to identify the most influential factors. The optimal parameter combination was found to be current at 180 A, voltage at 18 V, speed at 80 cm/min, and heat input at 0.2 KJ/mm. Confirmation experiments yielded an average weld diameter of 15.8125 mm, validating the Taguchi prediction and demonstrating the method's effectiveness in minimizing diameter variation. These findings confirm that all four parameters significantly affect weld diameter and that Taguchi-based optimization can effectively enhance weld quality and manufacturing efficiency.

Keywords: ANOVA; diameter; heat input; spot welding; Taguchi method

1. Pendahuluan

Pengelasan menggunakan robot atau *robot welding* merupakan teknologi manufaktur modern yang mengotomatiskan proses pengelasan secara penuh, baik dalam pelaksanaan penyambungan logam maupun dalam penanganan komponen kerja. Teknologi ini sangat umum digunakan dalam industri otomotif dan produksi massal karena kemampuannya menghasilkan kualitas yang konsisten, efisiensi waktu kerja, dan pengurangan kesalahan manusia (*human error*). Salah satu metode pengelasan yang sering diterapkan dalam sistem *robot welding* adalah *resistance spot welding*, yaitu metode pengelasan titik dengan tekanan dan arus listrik untuk menyatukan dua lembaran logam [1][2].

Namun demikian, kualitas hasil pengelasan tidak hanya bergantung pada pemanfaatan teknologi otomatis, tetapi juga sangat dipengaruhi oleh parameter proses seperti arus listrik (*ampere*), tegangan (*voltage*), kecepatan gerak elektroda (*speed*), dan energi panas yang masuk (*heat input*) [3]. Oleh karena itu, perlu dilakukan optimasi terhadap parameter-parameter tersebut untuk memperoleh hasil pengelasan terbaik yang sesuai standar, dalam hal ini diameter spot welding yang ideal.

Menurut [4], kualitas dalam proses produksi dicapai melalui optimasi desain dengan tujuan untuk meminimalkan biaya produksi sekaligus mempertahankan daya saing di pasar global. Salah satu metode statistik yang efektif untuk melakukan optimasi adalah Metode Taguchi, yang dikenal efisien dalam menangani banyak faktor dan mampu meningkatkan kualitas produk dengan mengendalikan pengaruh variasi yang tidak dapat dikontrol (*noise*) [5]. Metode ini menggunakan rancangan eksperimen dan pendekatan rasio Signal to Noise (SN Ratio) untuk mengidentifikasi kombinasi parameter terbaik.

Dalam konteks ini, karakteristik kualitas berdasarkan pendekatan Taguchi terbagi menjadi tiga kategori: *Nominal is Best*, *Smaller is Better*, dan *Larger is Better* [6]. Untuk penelitian ini, digunakan karakteristik *Smaller is Better* karena standar industri menetapkan bahwa semakin kecil diameter spot welding dalam batas ideal 15 - 16 mm semakin baik kualitas sambungan.

Penelitian terdahulu [7] melakukan optimasi parameter spot welding pada material SUS 304 dan DIN 1.4003 menggunakan Metode Taguchi, dan menemukan bahwa current strength merupakan faktor paling dominan dalam mempengaruhi kekuatan tarik, serta berhasil menentukan kombinasi parameter optimal yang divalidasi melalui eksperimen konfirmasi. Namun, penelitian tersebut tidak menyoroti aspek diameter hasil pengelasan sebagai indikator utama kualitas sambungan, padahal dalam banyak aplikasi manufaktur, terutama yang melibatkan desain presisi dan efisiensi material, ukuran diameter pengelasan menjadi pertimbangan penting dalam banyak aplikasi manufaktur [8].

Selain itu, [9] menyoroti pentingnya pendekatan statistik dalam proses produksi untuk meningkatkan kualitas dan efisiensi. Mereka merekomendasikan penggunaan metode Taguchi karena kemampuannya dalam meminimalkan variasi dan menentukan parameter optimal dengan jumlah eksperimen yang efisien Roy (2010) dan Ross (1996) juga menegaskan bahwa metode Taguchi sangat berguna untuk sistem kompleks yang melibatkan banyak faktor dengan pengaruh tidak linier.

Berdasarkan kajian tersebut, dapat disimpulkan bahwa masih terdapat celah penelitian dalam upaya optimalisasi diameter *spot welding* menggunakan metode taguchi dengan memperhitungkan lebih dari dua parameter sekaligus. Hal ini mendorong dilakukannya penelitian ini, yang bertujuan untuk menganalisis pengaruh empat parameter utama *Ampere*, *Voltage*, *Speed*, dan *Heat Input* terhadap diameter hasil *spot welding* pada proses *robot welding*. Melalui penelitian ini, diharapkan dapat diperoleh kombinasi parameter yang optimal untuk meningkatkan kualitas sambungan, mengurangi variasi hasil, serta mendukung efisiensi proses produksi secara keseluruhan.

2. Metodologi Penelitian

2.1. Desain Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang bertujuan untuk mengoptimalkan parameter proses pengelasan spot welding menggunakan *robot welding*. Metode yang digunakan adalah Metode Taguchi, yaitu pendekatan statistika yang dirancang untuk menentukan kombinasi terbaik dari beberapa faktor proses dalam menghasilkan kualitas produk yang optimal [4][10]. Metode ini dikenal efisien karena dapat menghemat jumlah percobaan yang dilakukan tanpa mengurangi akurasi analisis. Eksperimen ini menggunakan rancangan ortogonal L8 (2^4) karena terdapat 4 faktor masing-masing dengan 2 level. Dengan menggunakan rancangan ini, hanya diperlukan 8 kombinasi percobaan dari 16 kemungkinan kombinasi penuh (*full factorial*), sehingga penelitian menjadi lebih hemat biaya dan waktu [11].

2.2. Variabel Penelitian

2.2.1. Variabel Bebas (Faktor)

Pemilihan parameter seperti arus (ampere), tegangan (voltage), kecepatan (speed), dan heat input (energi panas masuk) merupakan pendekatan umum dalam optimasi proses resistance spot welding (RSW). Menurut [12], keempat parameter tersebut memiliki pengaruh langsung terhadap terbentuknya nugget dan integritas sambungan pada logam lembaran, terutama dalam konteks pengelasan berbasis robot

Faktor-faktor yang digunakan dalam eksperimen beserta satuan dan level-nya dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Faktor dan Level Penelitian

No	Faktor	Satuan	Level 1	Level 2
1	<i>Ampere</i>	(A)	170	180
2	<i>Voltage</i>	(V)	17	18
3	<i>Speed</i>	(cm/menit)	80	90
4	<i>Heat Input</i>	(KJ/mm)	0.15	0.20

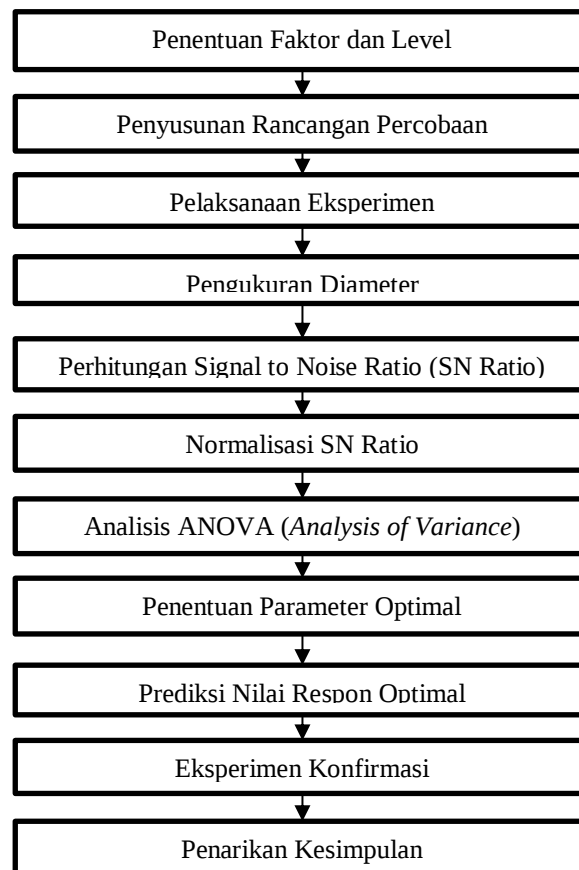
2.2.2. Variabel Terikat (Respon)

Dalam konteks manufaktur, *diameter nugget* (diameter hasil pengelasan titik) merupakan parameter utama untuk menentukan kualitas sambungan. Sesuai standar ISO 14327, ukuran nugget yang lebih kecil namun berada dalam rentang toleransi menunjukkan efisiensi panas yang baik dan distribusi arus yang optimal. Oleh karena itu, prinsip *smaller is better* dalam Taguchi digunakan agar dimensi las berada pada batas bawah toleransi tanpa mengorbankan kekuatan struktural sambungan [13]. Respon yang diamati adalah diameter hasil pengelasan *spot welding* (dalam mm). Standar diameter yang diinginkan berdasarkan spesifikasi proses adalah 15 - 16 mm. Dalam penelitian ini, karakteristik respon mengikuti prinsip *Smaller is Better*, sehingga semakin kecil nilai diameter (selama masih dalam batas toleransi), maka semakin baik kualitas hasil pengelasan [6].

2.3. Instrumen Penelitian

Instrumen yang digunakan dalam proses dan pengukuran meliputi: Mesin robot welding otomatis sebagai alat utama pelaksanaan pengelasan dan lembar data eksperimen untuk mencatat parameter input dan hasil respon tiap perlakuan.

2.4. Prosedur Penelitian

**Gambar 1.** Prosedur Penggunaan Metode Taguchi

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Data Percobaan

Pada penelitian ini, level yang digunakan sebanyak 2 level dari 4 faktor yang digunakan. Maka dari itu sesuai dengan metode taguchi jumlah eksperimen yang digunakan L8 (2^4) berikut ini tabel dari hasil eksperimen yang telah dilakukan :

Tabel 2. Data Hasil Percobaan *Spot Welding*

Exp	Faktor				Pengujian 1	Pengujian 2
	Ampere (A)	Voltage (V)	Speed (cm/mnt)	Heat Input kJ/mm	Panjang (mm)	
1	170	17	80	0.15	15.3	15.3
2	170	17	90	0.2	15.5	15.4
3	170	18	80	0.2	15.8	15.8
4	170	18	90	0.15	15.3	15.3
5	180	17	80	0.2	16	16
6	180	17	90	0.15	15.5	15.4
7	180	18	80	0.15	15.9	15.9
8	180	18	90	0.2	16	16

3.2. Signal Noise to Ratio (SN Ratio)

Nilai SN Ratio adalah nilai transformasi dari beberapa pengulangan data sehingga nilainya mewakili kualitas penyajian. Pada penelitian ini variabel respon diameter (mm) dengan karakteristik *Smaller is better*.

Tabel 3. SN Ratio

Eksperiment	Diameter (mm)
1	-23.6938
2	-23.7786
3	-23.9731
4	-23.6938
5	-24.0824
6	-23.7786
7	-24.0279
8	-24.0824

3.3. Normalisasi SN Ratio

Normalisasi bertujuan untuk mentransformasi nilai SN Ratio sehingga bernilai antara 0 dan 1. Hasil selengkapnya untuk nilai normalisasi SN Ratio seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Normalisasi SN Ratio

Eksperimen t	Diameter (mm)
1	1.00
2	0.78
3	0.28
4	1.00
5	0.00
6	0.78
7	0.14
8	0.00

3.4. Analysis of Variance (ANOVA)

Sebelum melakukan analisa ANOVA, dilakukan pengujian normalitas yang bertujuan untuk mengetahui apakah data sudah terdistribusi normal atau belum. Berikut ini hasil dari pengujian normalitas.

3.4.1. Uji Normalitas

Hipotesis yang digunakan pada uji normalitas H_0 : Data Mengikuti distribusi normal H_1 : Data tidak mengikuti ditribusi normal. Berdasarkan hasil uji normalitas dengan menggunakan minitab didapatkan hasil nilai mean sebesar 0.0125 sehingga nilai mean tersebut sudah memenuhi syarat ϵ_{ij} adalah $N(0, \sigma^2)$. Sedangkan nilai P – Value sebesar 0.1 > 0.05 sehingga hipotesis H_0 gagal ditolak yang berarti data residual terdistribusi normal.

3.4.2. Uji ANOVA

Setelah melakukan uji normalitas, kemudian melakukan uji ANOVA berikut ini hipotesis yang digunakan pada ANOVA:

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

$$H_1 : \mu_i \neq \mu_j \text{ Paling sedikit ada satu } \mu \text{ yang berbeda}$$

Kriteria Penolakan:

Tolak H_0 , Jika P – Value < α

Berdasarkan gambar 2 hasil uji ANOVA dengan minitab didapatkan hasil:

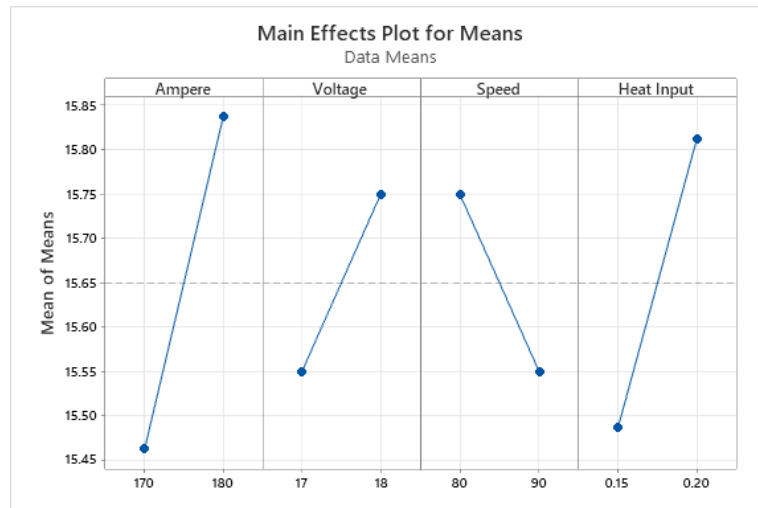
Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Ampere	1	0.281250	0.281250	225.00	0.001
Voltage	1	0.061250	0.061250	49.00	0.006
Speed	1	0.061250	0.061250	49.00	0.006
Heat Input	1	0.211250	0.211250	169.00	0.001
Error	3	0.003750	0.001250		
Total	7	0.618750			

Gambar 2. Hasil Uji ANOVA Dengan Minitab

Dari hasil analysis of variance pada significance level (α) 5% didapatkan nilai P – Value dari masing – masing faktor < 0.05 sehingga sehingga hipotesis H_0 ditolak, yang berarti paling sedikit ada satu rata – rata populasi diameter spot welding yang berbeda. Dengan demikian dengan hasil tersebut dapat diketahui bahwa faktor amper, voltage, speed dan heat input berpengaruh signifikan terhadap diameter spot welding

3.5. Penentuan Kondisi Optimum

Kondisi optimum dapat diperoleh dengan memilih nilai terbesar untuk setiap respon. Gambar 3 adalah hasil dari kondisi optimum dengan menggunakan minitab. Dari hasil gambar 3 dapat diketahui faktor ampere dengan kondisi optimum berada di level 2, faktor voltage dengan kondisi optimum berada di level 2, faktor Speed dengan kondisi optimum berada di level 1 dan yang terakhir faktor Heat input dengan kondisi optimum berada di level 2. Sehingga kombinasi yang optimumnya yaitu Ampere 180, Voltage 18, Speed 80 dan Heat input 0.2



Gambar 3. Main Effect Plot for Means

Berdasarkan hasil Gambar 4 menunjukkan hasil yang sama dimana faktor amper memiliki nilai tertinggi di level 2, faktor *voltage* memiliki nilai tertinggi di level 2, faktor *Speed* memiliki nilai tertinggi di level 1 dan faktor heat input memiliki nilai tertinggi di level 2.

Response Table for Means

Level	Ampere	Voltage	Speed	Heat Input
1	15.46	15.55	15.75	15.49
2	15.84	15.75	15.55	15.81
Delta	0.38	0.20	0.20	0.33
Rank	1	3.5	3.5	2

Gambar 4. Respon Table For Means

3.6. Prediction Taguchi

Setelah didapatkan level terbaik dari masing – masing faktor, kemudian melakukan prediction taguchi dengan menggunakan minitab, gambar 5 menampilkan hasil dari prediction taguchi:

Prediction	Settings
<u>S/N Ratio Mean</u>	<u>Ampere Voltage Speed Heat Input</u>
-24.1941 16.2	180 18 80 0.2

Gambar 5. Hasil Prediction Taguchi

3.7. Eksperimen Konfirmasi

Setelah mendapatkan level optimum selanjutnya dilakukan eksperimen konfirmasi sebagai pembuktian. Dalam eksperimen ini ditetapkan jumlah percobaan sebanyak 8 kali dengan faktor amper di level 2, faktor voltage di level 2, faktor Speed di level 1 dan faktor heat input di level 2.

Tabel 5. Ekperimen konfirmasi

Eksperimen	1	2	3	4	5	6	7	8
Diamater (mm)	16	15.5	16	15.4	15.7	16	15.9	16

Tabel 5 merupakan hasil dari pengelasan sebanyak 8 kali dengan hasil diameter pengelasannya. Nilai rata – rata diameter setelah dilakukan konfirmasi yaitu sebesar 15.8125 mm.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari penelitian diatas, dari 4 faktor yang ada yaitu amper, voltage, speed dan heat input semuanya berpengaruh terhadap diameter yang dihasilkan. Kemudian setelah dilakukan analisa taguchi dan mendapatkan nilai optimum pada tiap – tiap faktor hasil prediksi diameter yang diperoleh sebesar 16.2 mm, sedangkan setelah dilakukan konfirmasi di lapangan hasil diameter yang diperoleh yaitu sebesar 15.8125 mm. Dengan demikian hasil kombinasi optimal dari masing – masing faktor membuktikan bahwa diameter yang didapatkan mengalami reduksi. Hal ini menunjukkan dengan menggunakan metode taguchi dapat menghasilkan nilai diameter sekecil mungkin.

Daftar Pustaka

- [1] M. Pouranvari and S. P. H. Marashi, “Critical review of automotive steels spot welding: process, structure and properties,” *Science and Technology of Welding and Joining*, vol. 18, no. 5, pp. 361–403, Jul. 2013, doi: 10.1179/1362171813Y.0000000120.
- [2] Zhang, H., & Senkara, J. (2005). *Resistance Welding: Fundamentals and Applications*. CRC Press.
- [3] J. R. Davis (ed.), *Welding Handbook*, ASM International, 1993.
- [4] Roy, R. K. (2010). *A Primer on the Taguchi Method (2nd ed.)*. Society of Manufacturing Engineers.
- [5] Taguchi, G. (1993). *Taguchi on Robust Technology Development: Bringing Quality Engineering Upstream*. ASME Press.
- [6] Belavendram, N. (1995). *Quality by Design: Taguchi Techniques for Industrial Experimentation*. Prentice Hall.
- [7] Berlyan Putri Anugrah Nillahi Ts. et al. (2023), “Analisis Variasi Parameter Pengelasan Spot Welding Terhadap Kekuatan Tarik Pada Material SUS 304 dan DIN 1.4003”.
- [8] B. & W. S. Haryanto, “Effect of Welding Parameters on Nugget Diameter in Resistance Spot Welding,,” *Materials Science Forum*, pp. 112–118, 2022.
- [9] A. , K. A. I. , & S. F. Pratama, “Optimization of Manufacturing Parameters Using Taguchi Method,,” *Procedia Manuf*, vol. 38, pp. 174–179, 2019.
- [10] Taguchi, G., & Konishi, S. (1987). *Taguchi Methods: Orthogonal Arrays and Linear Graphs*. American Supplier Institute.

- [11] Soejanto, A. (2009). *Perancangan Eksperimen dengan Metode Taguchi*. Graha Ilmu.
- [12] H. R. Rezaei Ashtiani and R. Zarandooz, "The Influence of Welding Parameters on the Nugget Formation of Resistance Spot Welding of Inconel 625 Sheets," *Metallurgical and Materials Transactions A*, vol. 46, no. 9, pp. 4095–4105, Sep. 2015, doi: 10.1007/s11661-015-3030-1.
- [13] *ISO 14327:2004 - Resistance welding — Qualification test of welders — Fusion welding*.
- [14] Box, G. E. P., Hunter, J. S., & Hunter, W. G. (2005). *Statistics for Experimenters: Design, Innovation, and Discovery* (2nd ed.). Wiley.
- [15] Ross, P.J. (1996). *Taguchi Techniques for Quality Engineering*. McGraw-Hill.
- [16] Phadke, M.S. (1989). *Quality Engineering Using Robust Design*. Prentice Hall.
- [17] Montgomery, D. C. (2013). *Design and Analysis of Experiments* (8th ed.). Wiley.