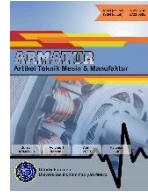


Contents list available at [Sinta](https://sinta)**A R M A T U R**

: Artikel Teknik Mesin & Manufaktur

Journal homepage: <https://scholar.ummetro.ac.id/index.php/armatur>**Optimasi Parameter Pengelasan SMAW pada Pembuatan Mata Pendulum Uji Impak Charpy dari Baja Tulangan D12 Menggunakan Metode Taguchi****Muh Thohirin^{1*}, Ambar Pambudi², Wisnaningsih³, FX Obi Edi Prayugo⁴, Salmanuddin Al Farisyi⁵**^{1,3,4,5}Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sang Bumi Ruwa Jurai, Jl. Imam Bonjol No. 468 Langkapura, Bandar Lampung, 35154.²Prodi Mekanisasi Pertanian, Fakultas Teknik, Politeknik Negeri Lampung, Jl. Soekarno Hatta No.10, Rajabasa Raya, Kec. Rajabasa, Kota Bandar Lampung, Lampung 35141**A R T I C L E
I N F O****Keywords:***Taguchi, SMAW welding, pendulum blade, impact toughness, reinforcement steel.***A B S T R A C T**

Pendulum blade performance significantly affects the accuracy of Charpy impact tests, yet limited research focuses on its fabrication. This study investigates the effect of welding current, electrode type, and SAE oil viscosity on the impact toughness of pendulum blades made from D12 reinforcement steel, using the Taguchi method for process optimization. A total of nine experimental combinations were arranged using an L9 orthogonal array, with performance measured via Signal-to-Noise Ratio (S/N Ratio) under the "larger is better" criterion. The results showed that the best toughness value of 0.40 mm was achieved using 80 A current, LB electrode, and SAE 15 oil, while the average toughness across treatments was 0.25 mm. Among the tested parameters, welding current had the strongest influence, while the NK electrode consistently improved material performance. Lubricants with higher viscosity also contributed to more stable impact resistance.

This study concludes that the Taguchi method effectively identifies optimal welding parameters and that D12 reinforcement steel holds potential as an alternative material for impact testing components. The right combination of process variables can enhance both mechanical performance and operational reliability of pendulum blades.

*Corresponding author: muhtohirin21@gmail.com

DOI: <https://10.24127/armatur.v4i1.3266>

Received 03 Juli 2023; Received in revised form 29 September 2025; Accepted 29 September 2025

Available online 30 September 2025

Pendahuluan

Pengujian impak merupakan salah satu metode penting yang digunakan untuk mengetahui seberapa besar kemampuan suatu material dalam menyerap energi sebelum mengalami kerusakan akibat beban kejut. Salah satu metode yang paling banyak digunakan adalah uji impak Charpy, karena prosedurnya sederhana dan hasilnya mampu memberikan gambaran awal tentang ketangguhan material terhadap patahan mendadak [1]. Dalam uji ini, sebuah spesimen dikenai beban oleh pendulum bergerak cepat, sehingga energi tumbukan yang terserap dapat dicatat dengan akurat.

Meski fokus utama dalam uji Charpy umumnya terletak pada material spesimen, keberadaan komponen pendulum yang menjadi alat penghantam sebenarnya juga sangat penting. Pendulum tersebut, khususnya pada bagian ujungnya (mata pendulum), bertugas mentransfer energi ke benda uji dalam kecepatan tinggi secara berulang. Oleh sebab itu, komponen ini harus memiliki karakteristik mekanik yang sangat baik, termasuk daya tahan terhadap aus, kekerasan, dan kekuatan bentur [2]. Sayangnya, aspek perancangan dan pengembangan mata pendulum ini masih jarang dibahas secara spesifik dalam literatur teknik.

Penggunaan baja tulangan D12, yang selama ini dikenal sebagai material konstruksi bangunan, menjadi pendekatan alternatif yang menarik untuk diaplikasikan pada pembuatan mata pendulum. Selain mudah diperoleh dan relatif ekonomis, baja ini juga memiliki kekuatan tarik yang cukup tinggi. Jika diproses dengan baik, material ini berpotensi menjadi pengganti logam khusus yang biasa digunakan pada komponen alat uji. Beberapa studi menunjukkan bahwa baja tulangan dapat dimodifikasi sifatnya melalui teknik pengelasan yang tepat, sehingga memungkinkan aplikasinya diperluas di luar konstruksi sipil [3].

Salah satu teknik penyambungan yang umum digunakan dan mudah diakses adalah pengelasan SMAW (Shielded Metal

Arc Welding). Metode ini banyak dipakai di industri kecil hingga menengah karena praktis, efisien, dan tidak memerlukan peralatan yang kompleks. Meski demikian, keberhasilan pengelasan sangat dipengaruhi oleh parameter prosesnya, seperti besar arus, jenis elektroda, dan posisi pengelasan. Pengaturan yang tidak tepat dapat menurunkan kekuatan sambungan dan memengaruhi performa komponen [4].

Untuk memastikan hasil pengelasan optimal, diperlukan pendekatan ilmiah yang dapat mengevaluasi dan mengatur parameter secara efisien. Salah satu metode yang cukup populer dalam hal ini adalah metode Taguchi. Teknik ini menggunakan array ortogonal untuk merancang kombinasi eksperimen, serta analisis rasio sinyal terhadap derau (*Signal-to-Noise Ratio*) untuk mengidentifikasi pengaruh setiap faktor secara statistik. Metode Taguchi juga terbukti mampu membantu proses pengambilan keputusan dalam kondisi kompleks, dengan jumlah eksperimen yang relatif sedikit [5][6].

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan parameter pengelasan SMAW dalam proses fabrikasi mata pendulum uji impak Charpy yang dibuat dari baja tulangan D12. Penelitian ini tidak hanya berupaya menghasilkan sambungan las yang kuat dan andal, tetapi juga mengeksplorasi potensi penggunaan material lokal yang belum umum diaplikasikan dalam pembuatan komponen alat uji mekanik. Dengan pendekatan Taguchi, diharapkan diperoleh formulasi proses pengelasan terbaik yang dapat meningkatkan performa dan ketahanan mata pendulum terhadap beban dinamis.

Metode Penelitian

Penelitian dilakukan dengan pendekatan eksperimental yang bertujuan untuk mengoptimalkan parameter pengelasan dalam pembuatan mata pendulum uji impak Charpy. Bahan dasar pembuatan mata pendulum uji impak Charpy adalah baja tulangan D12, untuk mencapai

tujuan tersebut dilakukan pendekatan statistic menggunakan metode Taguchi L9 mencakup 3 faktor dan 3 level dalam perancangan eksperimen dan analisa data. Proses penelitian ini mencakup :

1. Rancangan Eksperimen dengan Taguchi L9

Rancangan eksperimen taguchi L9 mempertimbangkan faktor-faktor yang berpengaruh terhadap respon dari ketagguhan mata pendulum uji impak charpy, faktor-faktor yang diamati adalah arus pengelasan, elektroda las, dan juga media pendinginan dengan tingkat kekentalan oli yang berbeda-beda, masing masing faktor juga memiliki level yaitu dapat dilihat dalam tabel.

Tabel 1. Faktor dan level yang diamati

No.	Faktor	Level		
		1	2	3
1	Arus (A)	80	85	90
2	Elektroda	NK	LB	RB
3	Kekentalan Oli	10	15	20

Rancangan eksperimen dengan taguchi L9 digunakan untuk menjalankan eksperimen, berikut adalah rancangan taguchi L9

Tabel 2. Tabel Rancangan Taguchi L9

No.	Arus Las (A)	Elektroda	Kekentalan oli (SAE)
1	80	NK	10
2	80	LB	15
3	80	RB	20
4	85	NK	15
5	85	LB	20
6	85	RB	10
7	90	NK	20
8	90	LB	10
9	90	RB	15

2. Material Mata Pendulu Impak Charpy
Material yang digunakan adalah baja D12 yang mudah diperoleh dan mudah untuk diaplikasikan di bidang apa saja seperti struktur kolom beton dan lainnya, baja D12 atau sering disebut dengan baja nako dipilih untuk diaplikasikan pada mata pendulum uji impak charpy.

Berikut adalah gambar dari baja D12 yang digunakan.



Gambar. 1 Baja D12

3. Proses Pengelasan

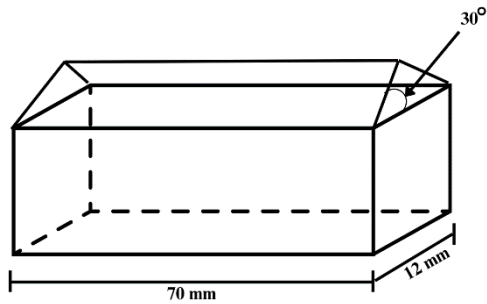
Proses pengelasan dilakukan dengan proses las SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) dengan variasi arus las yang sudah dirancang dengan metode taguchi L9, arus pengelasan yang digunakan adalah 80A, 85A, dan 90A. Selain itu, elektroda yang digunakan adalah dengan merk dagang NK, RB, dan LB.



Gambar. 2 Elektroda Las yang digunakan

4. Pembentukan Mata pendulum Impak Charpy

Material sesudah dilas kemudian dibentuk sesuai dengan ukuran mata pendulum uji impak charpy, ukuran mata pendulum uji impak charpy ini adalah dengan panjang 70mm x 12mm dan di las dengan ketebalan 3mm kemudian dibentuk sudut dibagian lasan sebesar 30°.



Gambar. 3 Potongan mata pendulum uji impact



Gambar. 4 Mata Pendulum

5. Pengujian Secara Langsung dengan Uji Impak Charpy

Setelah dilakukan pengelasan pada mata pendulum uji impact, pengujian pada mata pendulum dilakukan secara langsung dengan memasang pada ujung pemukul impact charpy sederhana, kemudian dilihat seberapa dalam mata pendulum tersebut berkurang akibat terkena beban pukulan yang bertumbuk antara mata pendulum dengan material impact.



Gambar. 5 Uji Impak Charpy Sederhana

Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian ini melibatkan analisa langsung pada mata pendulum uji impact charpy. Data diperoleh dengan mengukur pengurangan spesimen awal dan

spesimen akhir, sebelum dan sesudah menumbuk material, dilakukan secara langsung dengan 9 kali seperti rancangan run order pada taguchi L9 yang sebelumnya sudah dibahas.

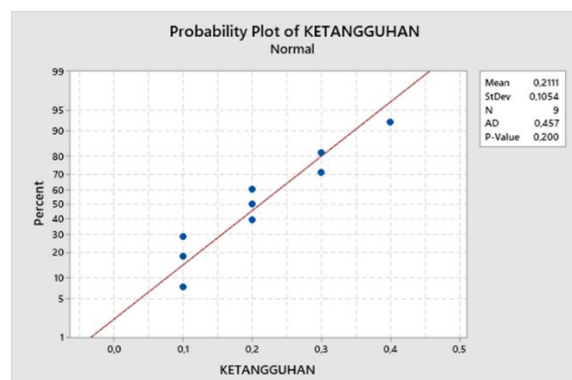
Tabel 3. Hasil Pengujian

No.	Arus Las (A)	Elektroda	Kekentalan oli (SAE)	Ketangguhan (mm)
1	80	NK	10	0,10
2	80	LB	15	0,40
3	80	RB	20	0,20
4	85	NK	15	0,10
5	85	LB	20	0,40
6	85	RB	10	0,20
7	90	NK	20	0,10
8	90	LB	10	0,30
9	90	RB	15	0,30
Rata-Rata				0,25

Berdasarkan hasil pengujian, terlihat bahwa nilai ketangguhan tertinggi tercapai pada pengelasan dengan perlakuan arus las sebesar 80 A penggunaan elektroda LB dan kekentalan oli SAE 15, dengan nilai ketangguhan sebesar 0,40mm. sebaliknya nilai ketangguhan terkecil terjadi pada beberapa kombinasi yaitu pada nomor 1,4 dan 7. Ketiganya sama sama menggunakan elektroda NK dan tingkat kekentalan oli 15 atau 10, yang artinya penggunaan elektroda dan media pendingin mempunyai pengaruh terhadap material menyerap energy tumbukan [7][8].

Hasil data diatas kemudian diolah dengan taguchi L9 untuk melihat faktor paling dominan terhadap ketangguhan baja D12 untuk mata pendulum uji impact charpy.

Uji normalitas data dilakukan untuk melihat apakah data bersifat normal atau tidak.



Gambar. 5 Probability Plot

Probability plot ini membandingkan antara data eksperimen dengan garis referensi berdistribusi normal. Semakin dekat persebaran data terhadap garis referensi maka data semakin besar bersifat normal [9] dari analisis data ketangguhan adalah 0,2111 dengan nilai standar deviasi 0,1054, jumlah data yang dianalisa adalah 9 sampel, nilai Anderson Darling (AD) yang didapatkan adalah 0,457, sementara itu nilai P-value > 0,05 ini mengindikasikan bahwa yang berarti data ketangguhan spesimen memenuhi asumsi distribusi normal.

Tabel 4. Nilai S/N Ratio

No	Arus Las (A)	Elektroda	Kekentalan oli (SAE)	Ketangguhan (mm)	S/N ratio
1	80	NK	10	0,10	20,0000
2	80	LB	15	0,40	7,9588
3	80	RB	20	0,20	13,9794
4	85	NK	15	0,10	20,0000
5	85	LB	20	0,40	13,9794
6	85	RB	10	0,20	13,9794
7	90	NK	20	0,10	20,0000
8	90	LB	10	0,30	10,4576
9	90	RB	15	0,30	10,4576

Nilai S/N ratio dengan karakteristik *smaller is better* dapat dilihat bahwa nilai S/N ratio terbesar adalah 20,0000 hal ini didapat dari kondisi percobaan dengan kuat arus 80A menggunakan elektroda las jenis NK dan menggunakan cairan pendingin oli dengan tingkat kekentalan SAE 10 yang memiliki nilai ketangguhan 0,1mm.

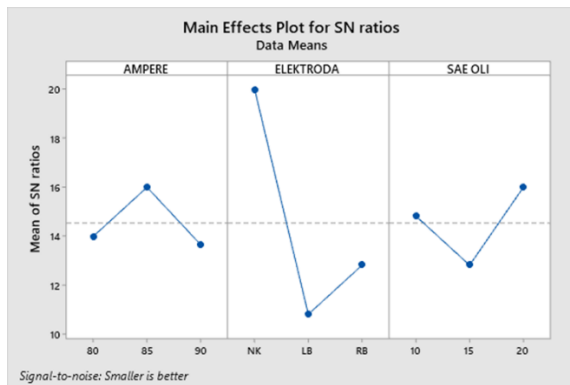
Analysys Varian (ANOVA) untuk ketangguhan mata pendulum uji impak charpy

Tabel 5. Analisis Of Varian (ANOVA) ketangguhan mata pendulum uji impak charpy

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Ampere	2	9,656	9,656	4,8282	6,96	0,126
Elektroda	2	140,455	140,455	70,2274	101,23	0,010
Sae Oli	2	15,523	15,523	7,7616	11,19	0,082
Residual Error	2	1,388	1,388	0,6938		
Total	8	167,022				

Analisis varians (ANOVA) terhadap nilai Signal-to-Noise (S/N) Ratio dilakukan untuk mengevaluasi sejauh mana masing-masing parameter—yakni arus pengelasan, jenis elektroda, dan kekentalan oli SAE—memberikan kontribusi terhadap performa ketangguhan mata pendulum pada uji impak Charpy. Berdasarkan hasil perhitungan, faktor arus (ampere) menunjukkan nilai F sebesar 6,96 dengan P-value 0,126. Karena nilai P melebihi ambang batas signifikansi 0,05, maka dapat disimpulkan bahwa arus las tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap ketangguhan sambungan dalam konteks pengujian ini. Sebaliknya, jenis elektroda menunjukkan pengaruh yang sangat dominan, dengan nilai F mencapai 101,23 dan P-value 0,010. Nilai P yang berada jauh di bawah 0,05 menandakan bahwa jenis elektroda berperan penting dan signifikan secara statistik terhadap ketangguhan material. Fakta ini diperkuat oleh tingginya nilai Adjusted Sum of Squares (Adj SS) sebesar 140,455, yang menjadikan faktor ini sebagai variabel paling berpengaruh dalam model optimasi yang dikembangkan. Untuk faktor kekentalan oli (SAE), diperoleh nilai F sebesar 11,19 dan P-value 0,082. Meskipun nilai P masih sedikit di atas batas signifikansi umum, hal ini menunjukkan bahwa pengaruh oli SAE terhadap ketangguhan material cukup berarti, walau belum dapat dikategorikan sebagai signifikan secara statistik. Namun demikian, kontribusinya masih lebih besar dibandingkan faktor arus las. Adapun nilai Adj SS untuk galat residual (residual error) tercatat sebesar 1,388, yang tergolong sangat kecil jika dibandingkan dengan nilai kontribusi dari faktor-faktor utama [10].

Grafik main effect plot for S/N ratio dapat dilihat dibawah ini untuk mengkonfirmasi bahwa faktor elektroda memerankan peran penting dalam ketangguhan pada pengelasan baja D12 yang digunakan untuk mata pendulum uji impak charpy.



Gambar. 6 Grafik main effect plot S/N Ratio Ketangguhan Mata Pendulum Uji impak charpy

Analisis grafik menunjukkan bahwa ketiga variabel utama—yakni arus listrik (ampere), jenis elektroda, dan kekentalan pelumas (SAE)—memiliki pengaruh yang nyata terhadap performa ketangguhan material dalam pengujian impak Charpy. Untuk mengevaluasi sejauh mana masing-masing faktor memengaruhi karakteristik ketahanan terhadap tumbukan, digunakan pendekatan Signal-to-Noise Ratio (S/N Ratio) yang merepresentasikan hubungan antara sinyal utama dan gangguan (noise) dalam proses. Pada faktor arus listrik, terlihat fluktuasi nilai S/N Ratio yang cukup signifikan di antara tingkat arus yang berbeda. Hal ini menandakan bahwa variasi arus berperan krusial dalam menentukan seberapa besar energi impak yang mampu diserap oleh material.

Nilai-nilai ini menunjukkan bahwa penyesuaian arus yang tepat dapat memperkuat ikatan antarbutir dalam struktur mikro logam, yang secara langsung memengaruhi ketangguhan sambungan las. Ditinjau dari sisi jenis elektroda, elektroda bertipe LB justru menghasilkan nilai S/N Ratio yang paling rendah dibandingkan elektroda tipe RB dan NK. Rendahnya nilai ini mencerminkan performa yang kurang optimal dalam memperkuat struktur material terhadap beban impak. Hal ini mengindikasikan bahwa elektroda LB mungkin tidak memberikan penetrasi atau perlindungan fluks yang cukup untuk menghasilkan sambungan dengan kekuatan

bentur tinggi. Sebaliknya, elektroda NK menunjukkan performa lebih baik dengan nilai S/N Ratio tertinggi, yang mengarah pada peningkatan kemampuan material dalam meredam energi tumbukan secara efektif.

Sementara itu, variabel SAE oil viscosity menunjukkan kecenderungan yang lebih stabil, dengan nilai S/N Ratio yang secara umum meningkat seiring bertambahnya kekentalan. Hal ini memberi gambaran bahwa pelumasan dengan oli yang lebih kental dapat membantu mengurangi friksi saat uji impak, sehingga memberikan hasil yang lebih konsisten dan mendukung integritas material saat menerima beban tumbukan. Dengan memahami pola-pola dari grafik ini, dapat dikatakan bahwa pemilihan parameter pengelasan dan pelumasan yang tepat sangat menentukan keberhasilan dalam meningkatkan ketangguhan material.

Sebutkan hasil utama dari penelitian. Isi kesimpulan menyebutkan dengan jelas dan ringkas hasil utama penelitian, serta rekomendasi untuk penelitian lanjutan. Hindari pengulangan penjelasan yang terlalu mendetail.

Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mengungkapkan pengaruh dari tiga jenis parameter utama dalam pengelasan yaitu, arus las (A), jenis elektroda lasan, dan juga tingkat kekentalan oli (SAE) terhadap ketangguhan mata pendulum uji impak charpy yang dibuat dari baja tulangan D12 dengan menggunakan pendekatan taguchi L9 dan analisa S/N ratio. Dari hasil eksperimen dapat disimpulkan bahwa :

Kombinasi optimal untuk memperoleh ketangguhan tertinggi tercatat pada arus las 80A menggunakan elektroda LB dan kekentalan oli (SAE) 14 dengan nilai yang dicapai 0,40 mm jauh diatas nilai rata-rata 0,25mm.

Jenis elektroda terbukti memengaruhi hasil secara signifikan adalah elektroda berjenis NK menunjukkan performa yang paling konsisten dalam meningkatkan ketahanan bentur material.

Pelumasan dengan oli dan tingkat kekentalan (SAE) yang berbeda-beda memberikan kontribusi yang positif terhadap kesetabilan mata pendulum uji impak, di mana kekentalan lebih tinggi cenderung mendukung distribusi beban tumbukan yang lebih merata pada permukaan material.

Metode Taguchi terbukti efektif sebagai pendekatan optimasi parameter pengelasan, terutama dalam konteks eksperimen multifaktor yang mengutamakan efisiensi dan keakuratan hasil.

Saran

Sebagai tindak lanjut dalam penelitian ini beberapa saran perlu disampaikan yaitu :

Penelitian lanjutan sebaiknya melibatkan pengujian mikrostruktur dan kekerasan secara lebih detail, guna mengidentifikasi korelasi langsung antara parameter pengelasan dan morfologi struktur logam pada daerah fusi.

Penggunaan baja tulangan D12 sebagai alternatif material komponen teknik memiliki potensi besar untuk dikembangkan lebih lanjut dalam aplikasi rekayasa manufaktur, namun perlu dikaji ulang melalui uji jangka panjang seperti fatigue dan wear resistance untuk memastikan keandalannya dalam penggunaan berulang.

Referensi

- [1] S. Venkatramulu, M. S. B. Phridviraj, C. Srinivas, and V. C. S. Rao, "WITHDRAWN: Implementation of Grafana as open source visualization and query processing platform for data scientists and researchers," *Mater. Today Proc.*, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.03.364>.
- [2] B. Ngozi, G. Aliemeke, and A. Polytechnic, "Design and Fabrication of Impact Strength Machine," *J. Inf. Eng. Appl.*, no. January, 2021, doi: 10.7176/jiea/11-2-01.
- [3] G. Ahmed, "Mechanical Properties of Welded Deformed Reinforcing Steel Bars," *ARO-The Sci. J. Koya Univ.*, vol. 3, pp. 28–39, May 2015, doi: 10.14500/aro.10059.
- [4] S. F. Haider, M. M. Quazi, J. Bhatti, M. Nasir Bashir, and I. Ali, "Effect of Shielded Metal Arc Welding (SMAW) parameters on mechanical properties of low-carbon, mild and stainless-steel welded joints: A review," *J. Adv. Technol. Eng. Res.*, vol. 5, no. 5, pp. 191–198, 2019, doi: 10.20474/jater-5.5.1.
- [5] C. B. Vyavahare, V. N. Jadhav, R. V. Bhagate, N. R. Gadade, and A. J. Bhosale, "A Review on Parametric Optimization of MIG Welding by Taguchi 's Method A Review on Parametric Optimization of MIG Welding by Taguchi 's Method," no. July, 2021, doi: 10.13140/RG.2.2.17776.17929.
- [6] S. P. L.S. Sisira K. Weerasekalarage, Mudith Karunaratne, "Optimization of Shielded Metal Arc Welding (SMAW) process for mild steel," no. March 2020, 2019.
- [7] N. Singh, E. Cadoni, M. K. Singha, and N. K. Gupta, *Mechanical Behavior of a Structural Steel at Different Rates of Loading*. 2012. doi: 10.1007/978-81-322-0757-3_57.
- [8] B. Aliemeke, "Design and Fabrication of Impact Strength Machine," Jan. 2022, doi: 10.7176/JIEA/11-2-01.
- [9] D. Montgomery and C. St, *Design and Analysis of Experiments, 9th Edition*. 2022.
- [10] M. Singh, L. K. Bhagi, and H. Arora, "Effects of Shielded Metal Arc Welding Process Parameters on Dilution in Hardfacing of Mild Steel Using Factorial Design," 2020, pp. 207–220. doi: 10.1007/978-981-15-4748-5_21.

