

## Optimasi Uji Tegangan Tarik Pengelasan Tungsten Inert Gas pada Penggabungan Bada Material Baja Galvanish (SGCC) dengan Baja Karbon Rendah (SPCC-SD)

Ridhwan Shalahuddin Saputra, Khoirudin\*, Karyadi, Syahrul Taufik Hidayat, Tegar Dwi Cahyo, Trisa Ramadan

Program Studi Teknik Mesin, Universitas Buana Perjuangan Karawang  
Jl. HS.Ronggo Waluyo, Puseurjaya, Telukjambe Timur, Karawang, Jawa Barat 41361  
e-mail : [khoirudin@ubpkarawang.ac.id](mailto:khoirudin@ubpkarawang.ac.id)

Received 6 Juni 2024 | Revised 15 July 2024 | Accepted 4 Agustus 2024

### ABSTRAK

Pengelasan adalah salah satu proses utama dalam industri manufaktur yang digunakan untuk menggabungkan dua atau lebih material logam. Salah satu metode pengelasan yang umum digunakan adalah Tungsten Inert Gas (TIG) welding. TIG welding merupakan teknik pengelasan dimana terjadi pembentukan busur listrik antara elektroda yang tidak meleleh dengan material kerja. Pengelasan TIG antara baja galvanis (SGCC) dan baja karbon rendah (SPCC-SD) sering digunakan pada industri otomotif karena kedua material tersebut memiliki karakteristik yang berbeda sehingga bisa digunakan pada kondisi operasional yang berbeda. Penelitian ini menggunakan metode Taguchi dengan tiga tingkat percobaan dan tiga faktor yang berbeda, yaitu Arus listrik, Laju aliran gas argon, dan diameter kampuh las. Hasil penelitian menunjukkan bahwa flowrate adalah parameter yang paling penting karena memiliki perbedaan nilai S/N ratio yang paling besar. Hal ini menunjukkan flowrate memiliki nilai yang signifikan lebih tinggi daripada arus dan diameter kampuh las sehingga berperan penting dalam menentukan kualitas kekuatan sambungan pengelasan TIG pada material SGCC dan SPCC-SD terhadap tegangan tariknya. Hasil analisis rasio S/N menunjukkan bahwa parameter yang paling optimal adalah arus listrik 55 A, laju aliran gas 18 lpm, dan diameter las 5 mm. Sementara itu, analisis ANOVA menunjukkan bahwa laju aliran gas memiliki kontribusi paling signifikan dalam mempengaruhi beban tarik pada pengelasan TIG bahan SPCC-SD (JIS 3141) dengan SGCC (JIS 3302) yaitu sebesar 23,24%. Selanjutnya disusul oleh diameter kampuh las dan arus pengelasan masing-masing memberikan kontribusi sebesar 19,82% dan 8,34%.

**Kata kunci:** Analisis S/N rasio, beda material, metode taguchi, pengelasan TIG, tensile load.

### ABSTRACT

Welding is one of the main processes in the manufacturing industry used to join two or more metal materials. One of the commonly used welding methods is Tungsten Inert Gas (TIG) welding. TIG welding is a technique in which an electric arc is formed between a non-melting electrode and the work material. TIG welding between galvanized steel (SGCC) and low carbon steel (SPCC-SD) is often used in the automotive industry because these two materials have different characteristics, allowing them to be used under different operational conditions. This study used the Taguchi method with three levels of experimentation and three different factors, namely electric current, argon gas flow rate, and weld bead diameter. The results showed that the flow rate is the most important parameter because it has the largest difference in S/N ratio values. This indicates that the flow rate has a significantly higher value than the current and weld bead

*diameter, thus playing an important role in determining the quality of the TIG welding joint strength on SGCC and SPCC-SD materials concerning their tensile strength. The S/N ratio analysis results showed that the most optimal parameters are an electric current of 55 A, a gas flow rate of 18 lpm, and a weld bead diameter of 5 mm. Meanwhile, the ANOVA analysis showed that the gas flow rate has the most significant contribution in influencing the tensile load in TIG welding of SPCC-SD (JIS 3141) with SGCC (JIS 3302), which is 23.24%. This is followed by the weld bead diameter and welding current, which contribute 19.82% and 8.34%, respectively.*

**Key words:** *S/N ratio analysis, material difference, taguchi method, TIG welding, tensile load.*

## 1. Pendahuluan

Pengelasan adalah salah satu proses utama dalam industri manufaktur yang digunakan untuk menggabungkan dua atau lebih material logam [1][2][3]. Salah satu metode pengelasan yang umum digunakan adalah *Tungsten Inert Gas (TIG) welding* [4][5][6]. TIG welding merupakan teknik pengelasan dimana terjadi pembentukan busur listrik antara elektroda yang tidak meleleh dengan material kerja. Sebuah gas *inert* mengalir di sekitar elektroda untuk melindungi area pengelasan dari kontaminasi udara. Gas ini tidak bereaksi dengan material apapun, sehingga menjaga kebersihan dan kualitas pengelasan tanpa terpengaruh oleh zat-zat yang dapat mencemari proses pengelasan [7]. Gas *inert* seperti argon atau helium digunakan untuk melindungi daerah pengelasan dari kontaminasi atmosfer yang dapat menghasilkan sambungan yang berkualitas [8].

Dalam industri otomotif, seringkali diperlukan pengelasan antara baja galvanis (SGCC) dan baja karbon rendah (SPCC-SD) karena karakteristik material yang berbeda tersebut [9][10]. Baja galvanis biasanya digunakan untuk perlindungan terhadap korosi, sementara baja karbon rendah memiliki kekuatan mekanik yang tinggi [11]. Gas *Tungsten Arc Welding (GTAW)* [12], yang juga dikenal sebagai pengelasan *Tungsten Inert Gas (TIG)* oleh *International Institute of Welding (IIW)*, merupakan salah satu teknik pengelasan listrik yang menghasilkan sambungan logam berkualitas tinggi. Namun, karena perbedaan karakteristik material yang ada, penting untuk menemukan parameter pengelasan TIG yang sesuai agar dapat mendukung UMKM dalam proses reparasi bodi mobil dan berbagai aplikasi lainnya, seperti pengelasan pagar/tralis.

Penelitian dengan tema pengelasan TIG dilakukan oleh [13],[14],[15] dan [16]. Budianto dan rekan-rekannya melakukan studi tentang pengelasan TIG untuk mengevaluasi dampak arus listrik dan ukuran *filler* terhadap struktur mikro dan kekuatan tarik menggunakan baja karbon rendah tipe St. 37. Hasil pengujian tarik dari sambungan las menunjukkan bahwa kekuatan tarik tertinggi yang tercatat adalah 41,74 N/mm<sup>2</sup>. Temuan ini diperoleh dalam proses pengelasan TIG dengan menggunakan *filler* berdiameter 1,6 mm dan arus listrik sebesar 120 A. Sebaliknya, kekuatan tarik terendah adalah 39,71 N/mm<sup>2</sup>, yang ditemukan pada penggunaan *filler* berdiameter 2,0 mm dengan arus listrik yang sama, yaitu 120 A [13]. Abdillah melakukan penelitian terhadap proses pengelasan TIG menggunakan bahan baku SUS 316L. Penelitian ini mempertimbangkan kecepatan pengelasan serta variasi arus sebagai faktor yang dimasukkan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi dampaknya terhadap struktur mikro dan kekerasan material tersebut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai arus listrik berkorelasi langsung dengan ukuran butiran dalam struktur mikro, sementara kecepatan pengelasan berkorelasi terbalik. Secara berurutan, nilai kekerasan tertinggi diamati pada *base metal*, *heat affected zone (HAZ)*, dan *weld metal*. Kondisi dengan kecepatan pengelasan TIG sebesar 12 cm/min dan kuat arus 100 A menunjukkan nilai kekerasan tertinggi [14]. Mohanvel dan rekan-rekannya telah melakukan studi TIG menggunakan bahan baku AA6061. Penelitian ini menggunakan metode *Taguchi* dengan tiga variabel pengelasan dan empat level percobaan. Variabel yang digunakan mencakup arus listrik, laju aliran gas, dan kecepatan pengelasan. Fokus penelitian adalah pada nilai kekuatan dampak. Kombinasi optimal level untuk mencapai kekuatan dampak maksimum diidentifikasi sebagai arus pengelasan 200 A, laju aliran gas 10 lpm, dan kecepatan pengelasan 58 milimeter per detik. Berdasarkan analisis ANOVA, ditemukan bahwa laju aliran gas adalah faktor yang paling signifikan dalam memengaruhi kekuatan dampak sambungan las TIG AA6061, diikuti oleh kecepatan pengelasan [15]. Penelitian juga telah dilakukan oleh Nurisna dan Setiawan menggunakan bahan berbeda yaitu baja karbon/SUS 316L. Dalam penelitian ini, mereka menggunakan filler ER316L dan ER70S sebagai faktor variabel tambahan. Kekerasan, kekuatan tarik, dan struktur mikro dipilih sebagai parameter keluaran yang dianalisis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan tarik pengelasan TIG dengan *filler* ER70S lebih tinggi daripada dengan *filler* ER316L. Kekuatan tarik yang diperoleh dengan menggunakan *filler* ER316L dan ER70S adalah 410 MPa dan 405 MPa secara berturut-turut [16].

Penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa parameter-parameter pengelasan seperti arus, tegangan, kecepatan pengelasan, dan aliran gas pelindung memiliki pengaruh signifikan terhadap kekuatan tarik sambungan dalam pengelasan TIG. Namun, masih diperlukan penelitian lebih

lanjut untuk mengoptimalkan parameter-parameter tersebut dalam pengelasan beda material, terutama antara baja galvanis dan baja karbon rendah.

Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan uji tegangan tarik pada pengelasan TIG untuk penggabungan beda material baja galvanis (SGCC) dengan baja karbon rendah (SPCC-SD). Metode optimasi yang digunakan adalah desain percobaan *Taguchi*, yang telah terbukti efektif dalam mengoptimalkan parameter-proses dalam berbagai aplikasi industri. Hasil pengelasan akan dianalisis dengan bantuan perangkat lunak *Minitab* untuk memahami pengaruh parameter pengelasan terhadap kekuatan tarik sambungan. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam meningkatkan pemahaman tentang proses pengelasan TIG dan memberikan panduan praktis untuk meningkatkan kualitas sambungan dalam pengelasan beda material.

## 2. Metodologi

### 2.1. Material

Bahan yang digunakan dalam studi ini merupakan SPCC-SD (JIS 3141) bersama dengan SGCC (JIS 3302) yang memiliki ketebalan 0,8mm. Baja galvanized (SGCC) adalah sejenis pelat baja dari kategori *Cold Rolled Coil (CRC)* yang diproses melalui galvanisasi dan annealing dengan menggunakan bahan dasar pelat SPHC [17]. Material SPCC-SD adalah salah satu jenis baja karbon rendah yang digunakan secara luas dalam industri manufaktur, khususnya untuk aplikasi yang memerlukan ketahanan korosi yang baik dan kekuatan yang cukup [18]. Sifat kimia dari bahan SPCC-SD dan SGCC ditampilkan pada Tabel 1, sedangkan karakteristik mekanik ditunjukkan pada Tabel 2.

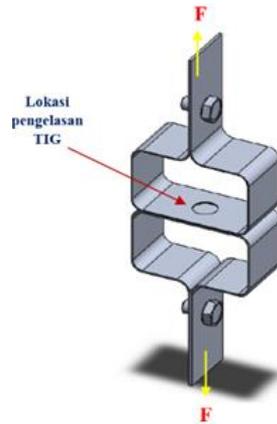
**Tabel 1.** Sifat kimia SPCC-SD dan SGCC

Bahan	Komposisi (%)			
	C	Mn	P	S
SPCC-SD [18]	0,15	0,6	0,1	0,05
SGCC [19]	0,15	0,8	0,05	0,05

**Tabel 2.** Sifat mekanis SPCC-SD dan SGCC

Bahan	Titik hasil (N/mm <sup>2</sup> )	Kekuatan tarik (N/mm <sup>2</sup> )
SPCC-SD [18]	0,15	0,6
SGCC [19]	0,15	0,8

Proses pengelasan pada spesimen uji, sebagaimana terlihat pada Gambar 1 dilakukan menggunakan peralatan pengelasan mesin las DAIDEN TIGi 200.



**Gambar 1.** Skema sampel uji

### 2.2. Desain Eksperimental Taguchi.

Beberapa pengaturan parameter dilakukan agar mencapai parameter optimal dalam hasil pengelasan. Tabel 3 menggambarkan rancangan eksperimen *Taguchi* [20] yang menggunakan tiga tingkat percobaan dengan tiga faktor yang berbeda, yaitu Arus Listrik, Laju Aliran Gas Argon, dan Diameter Kampuh Las.

**Tabel 3.** Desain eksperimental taguchi

Kode	Parameter	Tingkat Percobaan		
		I	II	III
A	Arus listrik (A)	45	50	55
B	Laju aliran argon (L/menit)	12	15	18
C	Diameter kampuh pengelasan (mm)	5	8	10

### 2.3. Pengujian Tegangan Tarik.

Pengujian tegangan tarik dilaksanakan dengan menggunakan perangkat uji tarik SHIMADZU model AGS-X 10Kn STD E200V seperti yang ditampilkan pada Gambar 2, dengan matrik pengujian seperti ditampilkan pada Tabel 4. Proses pengelasan melibatkan pengambilan informasi tentang tegangan tarik. Setiap parameter diukur dalam dua sampel yang berbeda, yaitu sampel 1 dan sampel 2. Hasil kedua sampel diambil rata-rata untuk dilakukan analisis.



**Gambar 2.** SHIMADZU model AGS-X 10Kn STD E200V

**Tabel 4.** Matrik pengujian

No. Iterasi	Arus (A)	Laju aliran gas (Lpm)	Diameter Kampuh Las (mm)
1	45	12	5
2	45	15	8
3	45	18	10
4	50	12	8
5	50	15	10
6	50	18	5
7	55	12	8
8	55	15	10
9	55	18	5

#### 2.4. Rasio Signal to Noise (S/N Ratio)

Dalam pendekatan eksperimen *Taguchi*, analisis rasio S/N memegang peran kunci. Sinyal menggambarkan nilai yang diharapkan dari output, sementara noise mewakili nilai yang tidak diinginkan. Pada suatu titik, terdapat parameter optimal yang akan menghasilkan kekuatan tarik terbaik atau tinggi secara optimal [21]. Perhitungan *signal-to-noise ratio* (S/N) tergantung pada sifat-sifat kualitas data yang menjadi fokus. *Taguchi* membagi karakteristik kualitas data menjadi tiga bagian, dan perhitungannya dapat dilakukan dengan menggunakan formula (1), (2), dan (3). [22][23][24][25].

*Smaller is better*

$$\frac{S}{N} = -10 \text{Log} \sum_{i=1}^{n_0} \frac{y_i^2}{n_0} \quad (1)$$

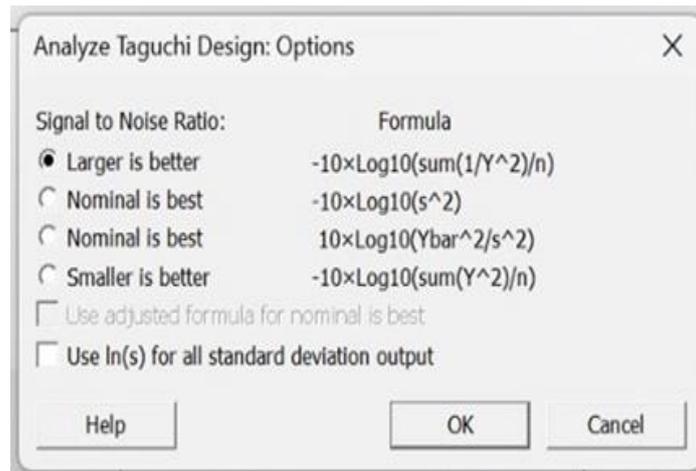
*Larger is better*

$$\frac{S}{N} = -10 \text{Log} \frac{1}{n_0} \sum_{i=1}^{n_0} \frac{1}{y_i^2} \quad (2)$$

*Nominal is the best*

$$\frac{S}{N} = -10 \text{Log} \frac{\bar{y}^2}{s^2} \quad (3)$$

Dalam suatu studi, kita memiliki n jumlah sampel, y faktor respon, dan  $\bar{y}$  adalah rata-rata faktor respon, serta varian dari faktor respon. Karena dalam penelitian ini, semakin tinggi nilai tegangan geser menunjukkan karakteristik yang lebih baik, kita menggunakan desain analisis Taguchi dengan prinsip "*larger is better*" [13] dengan tampilann pengaturan pada Gambar 3.



Gambar 3. Pengaturan analisis menggunakan taguchi

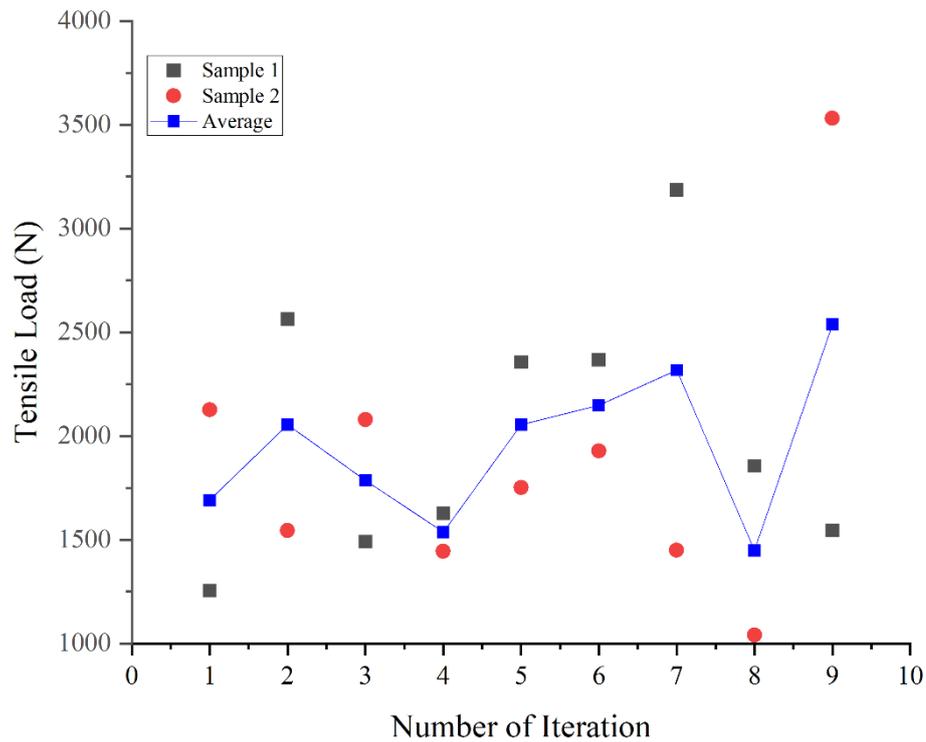
### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1. Tensile Load

Dari hasil pengujian yang dilakukan sesuai dengan matrik pengujian pada Tabel 4., maka dihasilkan data seperti yang disajikan pada Tabel 5, yang divisualisasikan menggunakan Gambar 4. Dari Gambar 4 terlihat bahwa nilai *tensile load* tertinggi terjadi pada iterasi no 9. Berdasarkan matrik pengujian pada Tabel 4, maka parameter dengan nilai *tensile load* rata-rata tertinggi yaitu pada parameter arus 55 A, laju aliran gas 18 L/menit, dan diameter kampuh las 5 mm.

Tabel 5. Hasil pengujian tensile load

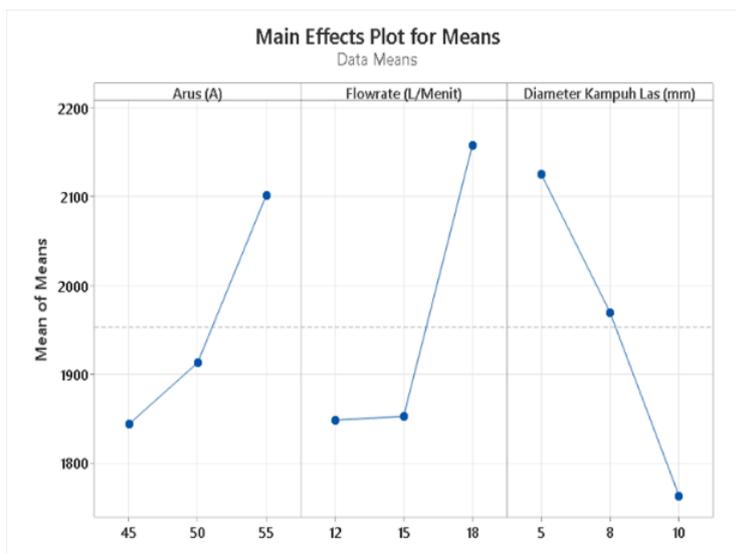
ITERAI KE-	PARAMETER			TENSILE LOAD (N)		
	ARUS (A)	FLOW RATE (L/Menit)	DIAMETER KAMPUH LAS (mm)	SAMPEL 1	SAMPEL 2	RATA-RATA
1	45	12	5	1255,46	2126,24	1690,85
2	45	15	8	2564,21	1544,95	2054,58
3	45	18	10	1492,28	2079,87	1786,075
4	50	12	8	1628,34	1444,68	1536,51
5	50	15	10	2357,29	1752,02	2054,655
6	50	18	5	2367,68	1927,77	2147,725
7	55	12	8	3185,98	1449,48	2317,73
8	55	15	10	1856,8	1040,93	1448,865
9	55	18	5	1544,98	3531,03	2538,005



**Gambar 4.** Visualisasi hasil pengujian *tensile load*

### 3.2. Analisis S/N Rasio

Hasil pengujian *tensile load* dilakukan validasi menggunakan analisis S/N rasio. Dari Gambar 5 terlihat bahwa parameter yang memiliki dampak paling besar terhadap variabel respon adalah *flowrate* baru diikuti oleh diameter kampuh dan arus. Dari hasil ini menunjukkan bahwa *flowrate* adalah parameter yang paling penting karena memiliki perbedaan nilai S/N ratio yang paling besar. Hal ini menunjukkan *flowrate* memiliki nilai yang signifikan lebih tinggi daripada arus dan diameter kampuh las sehingga berperan penting dalam menentukan kualitas kekuatan sambungan pengelasan TIG pada material SGCC dan SPCC-SD terhadap tegangan tariknya.



**Gambar 5.** Plot efek utama untuk rata-rata

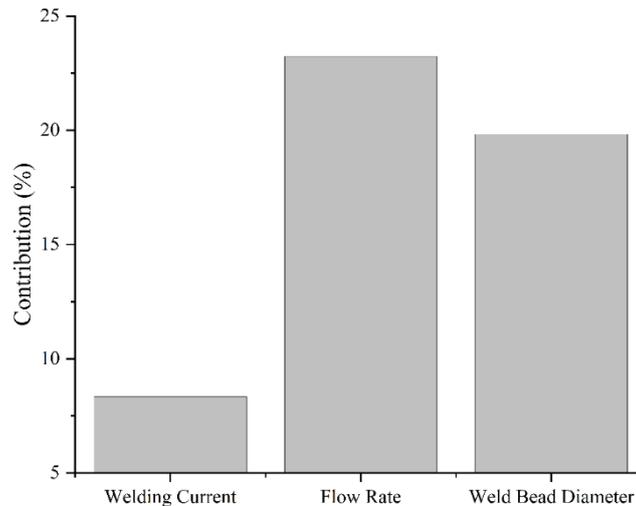
**3.3. Analisis of Variance (ANOVA)**

ANOVA merupakan kependekan dari "Analysis of Variance" [25], yang merujuk pada teknik statistik untuk menganalisis perbedaan antara rata-rata kelompok yang berbeda. ANOVA berdasarkan pada regresi linear serta model linear umum yang menilai korelasi di antara variabel bebas serta variabel tak bebas secara matematis [26]. ANOVA adalah metode analisis yang diperkenalkan oleh Ronald Fisher sebagai bagian dari uji inferensial parametrik yang bertujuan untuk membandingkan rerata dari lebih dari dua grup. Grup-grup ini dapat berupa kelompok sampel atau kategori perlakuan [27]. ANOVA digunakan untuk mengevaluasi keberartian dari parameter input yang diterapkan. Penggunaan ANOVA memungkinkan identifikasi tingkat signifikansi masing-masing parameter terhadap tujuan penelitian yang sedang dijalankan.

Hasil analisis ANOVA dapat disajikan melalui Tabel 6 yang menunjukkan bahwa kontribusi *flowrate* menunjukkan nilai tertinggi dibanding dengan arus dan diameter kampuh las. Seperti ditampilkan pada Gambar 6, menunjukkan bahwa *flowrate* dan diameter kampuh las memiliki perbedaan kontribusi yang kecil yaitu hanya sekitar 4%. Hal ini menunjukkan bahwa baik *flowrate* maupun diameter kampuh las memiliki kontribusi yang cukup seimbang, sehingga bisa menjadi referensi yang menarik untuk penelitian selanjutnya.

**Tabel 6.** *Analysis of Variance* tegangan tarik

Source	DF	Seq SS	Contribution (%)	Adj SS	Adj MS	F	P
Arus (A)	2	1,331	8,34	1,331	0,6657	0,17	0,853
<i>Flowrate</i> (L/Menit)	2	3,709	23,24	4,956	2,4781	0,64	0,610
Diameter Kampuh Las (mm)	2	3,164	19,82	3,164	1,5820	0,41	0,710
Residual Error	2	7,756	48,59	7,756	3,8781		
Total	8	15,961	100				



**Gambar 6.** Kontribusi masing-masing parameter terhadap *tensile load*

#### 4. Kesimpulan dan Saran

Penelitian ini menggunakan bahan SPCC-SD (JIS 3141) dan SGCC (JIS 3302). Pengelasan dilakukan menggunakan mesin las DAIDEN TIGi 200, dan pengujian beban tarik dilakukan menggunakan SHIMADZU AGS-X 10Kn STD E200V. Data uji beban tarik dianalisis menggunakan analisis rasio S/N dan ANOVA dengan bantuan perangkat lunak Minitab. Hasil analisis rasio S/N menunjukkan bahwa parameter yang paling optimal adalah arus listrik 55 A, laju aliran gas 18 lpm, dan diameter las 5 mm. Sementara itu, analisis ANOVA menunjukkan bahwa laju aliran gas memiliki kontribusi paling signifikan dalam mempengaruhi beban tarik pada pengelasan TIG bahan SPCC-SD (JIS 3141) dengan SGCC (JIS 3302) yaitu sebesar 23,24%. Selanjutnya disusul oleh diameter kampuh las dan arus pengelasan masing-masing memberikan kontribusi sebesar 19,82% dan 8,34%. Dari hasil penelitian ini maka flowrate dan diameter kampuh las merupakan parameter yang bisa digunakan sebagai referensi dalam penelitian yang serupa karena memiliki perbedaan kontribusi hanya sekitar 4%.

#### 5. Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini tidak akan mungkin terlaksana tanpa dukungan dan bantuan dari berbagai pihak yang telah berkontribusi dengan cara yang sangat berarti. Saya ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Universitas Buana Perjuangan Karawang atas dukungan tempat dan fasilitas yang telah diberikan. Bantuan ini sangat krusial dalam memfasilitasi berbagai aspek penelitian. Ucapan terima kasih juga saya sampaikan kepada dosen pembimbing Pak Khoirudin dan Pak Karyadi yang telah berperan penting dalam proses validasi data. Kontribusi mereka dalam memastikan keakuratan dan keabsahan data yang saya peroleh telah sangat membantu dalam menghasilkan hasil penelitian yang dapat diandalkan. Terakhir, saya ingin berterima kasih kepada seluruh tim peneliti yang telah bekerja keras dan berdedikasi tinggi dalam menyelesaikan penelitian ini. Komitmen dan kerja keras kalian semua sangat saya hargai. Sekali lagi, terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah terlibat. Penelitian ini adalah hasil kerja keras kita bersama, dan tanpa kontribusi kalian semua, penelitian ini tidak akan dapat diselesaikan dengan sukses.

#### 6. Daftar Pustaka

- [1] D. Prayitno, H. D. Hutagalung, dan D. P. B. Aji, "Pengaruh Kuat Arus Listrik Pengelasan Terhadap Kekerasan Lapisan Lasan pada Baja ASTM A316," *J. Din. Vokasional Tek. Mesin*, vol. 3, no. 1, hal. 1–6, 2018, doi: 10.21831/dinamika.v3i1.19109.
- [2] R. N. Jalajuwita dan I. Paskarini, "Hubungan Posisi Kerja Dengan Keluhan Muskuloskeletal Pada Unit Pengelasan Pt. X Bekasi," *Indones. J. Occup. Saf. Heal.*, vol.

- 4, no. 1, hal. 33, 2015, doi: 10.20473/ijosh.v4i1.2015.33-42.
- [3] J. Arifin, H. Purwanto, dan I. Syafa'at, "Pengaruh Jenis Elektroda Terhadap Sifat Mekanik Hasil Pengelasan," *Momentum*, vol. 13, no. 1, hal. 27–31, 2017.
- [4] R. S. Vidyarthi dan D. K. Dwivedi, "Activating flux tungsten inert gas welding for enhanced weld penetration," *J. Manuf. Process.*, vol. 22, hal. 211–228, 2016, doi: 10.1016/j.jmapro.2016.03.012.
- [5] S. Leconte, P. Paillard, P. Chapelle, G. Henrion, dan J. Saindrenan, "Effect of oxide fluxes on activation mechanisms of tungsten inert gas process," *Sci. Technol. Weld. Join.*, vol. 11, no. 4, hal. 389–397, 2006, doi: 10.1179/174329306X129544.
- [6] S. R. Singh dan P. Khanna, "A-TIG (activated flux tungsten inert gas) welding: - A review," *Mater. Today Proc.*, vol. 44, no. xxxx, hal. 808–820, 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2020.10.712.
- [7] R. J. Dimu dan O. D. Rerung, "Kekerasan Material Baja Karbon Rendah Pada Daerah Lasan Tig Dan Mig," *J. Tek. mesin*, vol. 2, no. 1, hal. 12–19, 2019.
- [8] Lisa Agustriyana, "Karakterisasi Hasil Pengelasan Gtaw Pada Baja Karbon Rendah Dengan Variasi Sudut Geometri Elektrode Dan Besar Arus Pengelasan," *Info Tek.*, vol. 19, no. 1, hal. 101–114, 2018.
- [9] R. Pujiyanto, S. Taufan, dan N. Iriyanti, "Limits on The Implementation of Contrario Actus Principle in The Procurement of Civil Servants," *UNIFIKASI J. Ilmu Huk.*, vol. 5, no. 2, hal. 76, 2018, doi: 10.25134/unifikasi.v5i2.1237.
- [10] F. Z. Hayyain, "TUGAS AKHIR ANALISIS KEKUATAN NUT M8 SETELAH PENGELASAN DENGAN MESIN SPOT WELDING PADA BOX SPARE PART K1ZG," 2023.
- [11] D. A. N. H. Impak, "PENGARUH WAKTU TAHAN PROSES HOT DIPPING BAJA KARBON RENDAH TERHADAP KETEBALAN LAPISAN , KEKUATAN TARIK," 2009.
- [12] K. Nandagopal dan C. Kailasanathan, "Analysis of mechanical properties and optimization of gas tungsten Arc welding (GTAW) parameters on dissimilar metal titanium (6Al-4V) and aluminium 7075 by Taguchi and ANOVA techniques," *J. Alloys Compd.*, vol. 682, hal. 503–516, 2016, doi: 10.1016/j.jallcom.2016.05.006.
- [13] E. Budiyanto, E. Nugroho, dan A. Masruri, "Pengaruh Diameter Filler Dan Arus Pada Pengelasan," *J. Elektron. Univ. Muhammadiyah Metro*, vol. 6, no. 1, hal. 54–61, 2017, [Daring]. Tersedia pada: <http://ojs.ummetro.ac.id/index.php/turbo%0APENGARUH>
- [14] F. A. Abdillah, "Pengaruh Variasi Arus Dan Kecepatan Pengelasan Tig Terhadap Struktur Mikro Dan Kekerasan Baja Tahan Karat Ss 316L," 2017.
- [15] V. Mohanavel, M. Ravichandran, dan S. S. Kumar, "ScienceDirect Optimization of tungsten inert gas welding parameters to attain maximum impact strength in AA6061 alloy joints using Taguchi Technique," *Mater. Today Proc.*, vol. 5, no. 11, hal. 25112–25120, 2018, doi: 10.1016/j.matpr.2018.10.312.
- [16] Z. Nurisna dan E. Setiawan, "Pengaruh Filler Pada Pengelasan Tig Baja Karbon Dan Stainless Steel 316L Terhadap Sifat Mekanik," *Quantum Tek. J. Tek. Mesin Terap.*, vol. 1, no. 2, hal. 95–99, 2020, doi: 10.18196/jqt.010214.
- [17] S.- Sukarman dan A. Abdulah, "Optimasi Single Response Proses Resistance Spot Welding Pada Penggabungan Baja Beda Material Menggunakan Metode Eksperimental

- Taguchi,” *Multitek Indones.*, vol. 14, no. 2, hal. 69–79, 2020, doi: 10.24269/mtkind.v14i2.3076.
- [18] “Cold-reduced carbon steel sheet and strip,” 2005.
- [19] “Hot-dip zinc-coated steel sheet and strip.” 2007.
- [20] H. L. Lin dan C. P. Chou, “Optimization of the gta welding process using combination of the taguchi method and a neural-genetic approach,” *Mater. Manuf. Process.*, vol. 25, no. 7, hal. 631–636, 2010, doi: 10.1080/10426910903365711.
- [21] S. F. Arnold, *Design of Experiments with MINITAB*, vol. 60, no. 2. 2006. doi: 10.1198/tas.2006.s46.
- [22] A. G. Thakur dan V. M. Nandedkar, “Optimization of the Resistance Spot Welding Process of Galvanized Steel Sheet Using the Taguchi Method,” *Arab. J. Sci. Eng.*, vol. 39, no. 2, hal. 1171–1176, 2014, doi: 10.1007/s13369-013-0634-x.
- [23] M. A. S. . R. M. F. S. D. Sabdin\*1, N. I. S. Hussein1, M. K. Sued1, M.S. Ayob1 dan 1Faculty, “Effects of ColdArc welding parameters on the tensile strengths of high strength steel plate investigated using the Taguchi approach S.,” vol. 4, no. 1, hal. 1–23, 2016.
- [24] and S.-M. J. Y.-G. Kim, D.-C. Kim, “Evaluation of tensile shear strength for dissimilar spot welds of Al-Si-Mg aluminum alloy and galvanized steel by delta-spot welding process,” *J. Mech. Sci. Technol.*, vol. 33, hal. 5399–5405, 2019.
- [25] M. Novianti, Saiful, dan Halimatusyadiah, “Analysis of the Differences in Financial Performance of Islamic Banks and Conventional Banks Using the Camel Ratio Analisis Perbedaan Kinerja Keuangan Bank Syariah dan Bank,” *J. Indones. Manag.*, vol. 1, no. 2, hal. 144–153, 2021.
- [26] S. F. Sawyer, “Analysis of Variance: The Fundamental Concepts,” *J. Man. Manip. Ther.*, vol. 17, no. 2, hal. 27E-38E, 2009, doi: 10.1179/jmt.2009.17.2.27e.
- [27] Universitas Jember, “Modul Uji Beda Lebih dari 2 Kelompok Sampel Independen,” vol. 2, hal. 1–4, 2022.