



# OPTIMASI PARAMETER PENGELASAN TIG PADA PENGGABUNGAN BAJA KARBON RENDAH DAN BAJA GALVANIS MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI

Syahrul Taufik Hidayat<sup>a</sup>, Karyadi<sup>a</sup>, Tegar Dwi Cahyo<sup>a</sup>, Ridhwan Salahuddin Saputra<sup>a</sup>, Khoirudin<sup>a\*</sup>

<sup>a</sup>Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Buana Perjuangan Karawang, Karawang 41361, Indonesia

\*Corresponding authors at: [khoirudin@ubpkarawang.ac.id](mailto:khoirudin@ubpkarawang.ac.id) (khoirudin) Tel.: +62857-1073-0879

## INFO ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diajukan pada 04 Juli 2024

Direvisi pada 14 Agustus 2024

Disetujui pada 27 Agustus 2024

Tersedia daring pada 06 September 2024

Kata kunci:

Pengelasan TIG, metode taguchi, kekuatan geser tarik

Keywords:

TIG Welding, taguchi method, shear tensile strength,

## ABSTRAK

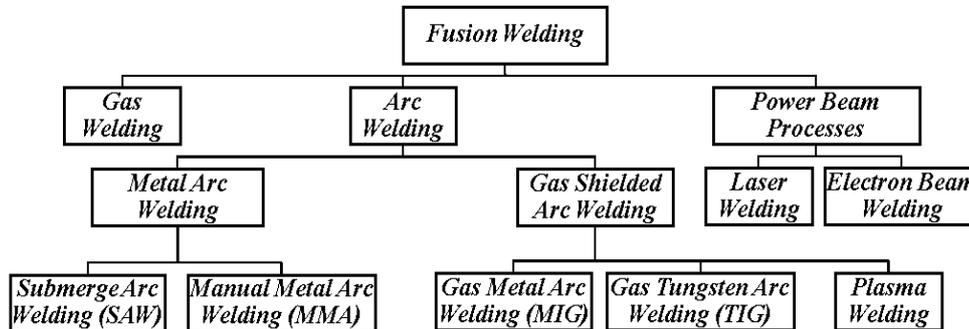
Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh berbagai parameter pengelasan terhadap beban tarik (*tensile load*) pada material baja karbon rendah SPCC-SD dan baja galvanis SGCC dengan ketebalan 0,8 mm. Baja SPCC-SD merupakan baja karbon rendah dengan kandungan karbon maksimum 0,15%, sementara baja SGCC adalah baja SPCC-SD yang dilapisi dengan seng cair untuk meningkatkan ketahanan korosi. Pengujian beban tarik dilakukan menggunakan dua model spesimen las TIG yang berbeda ( $M_1$  dan  $M_2$ ) dengan memvariasikan tiga parameter: arus listrik (45, 50, 55 A), laju aliran gas (12, 15, 18 L/menit), dan diameter kampuh (5, 8, 10 mm). Pengujian dilakukan menggunakan mesin UTM Shimadzu AGS-X 10kN STD E200V. Hasil pengujian menunjukkan bahwa beban tarik untuk model 1 adalah 5761,75 N, sedangkan untuk model 2 adalah 2538,01 N. Hasil analisis S/N ratios dan ANOVA menunjukkan bahwa parameter optimal berbeda untuk kedua model. Pada model 1 ( $M_1$ ), parameter optimal adalah arus 55 A, *flowrate* 15 L/menit, dan diameter kampuh 10 mm, sementara pada model 2 ( $M_2$ ), parameter optimal adalah arus 50 A, *flowrate* 18 L/menit, dan diameter kampuh 5 mm. Analisis ANOVA mengungkapkan bahwa laju aliran gas dan diameter kampuh las memberikan kontribusi terbesar terhadap beban tarik pada masing-masing model, sedangkan arus listrik memiliki kontribusi terkecil. Temuan ini menunjukkan bahwa pengaturan parameter pengelasan yang optimal harus disesuaikan dengan model spesimen yang digunakan.

## ABSTRACT

The purpose of this study is to investigate how different welding conditions affect the tensile load of materials made of low carbon steel (SPCC-SD) and galvanized steel (SGCC) with a thickness of 0.8 mm. While SGCC steel is SPCC-SD coated with molten zinc to improve corrosion resistance, SPCC-SD steel is a low carbon steel with a maximum carbon content of 0.15%. Two distinct TIG welding specimen models ( $M_1$  and  $M_2$ ) were used for the tensile load testing, with three parameters being varied: weld bead diameter (5, 8, 10 mm), gas flow rate (12, 15, 18 L/min), and electric current (45, 50, 55 A). A Shimadzu AGS-X 10kN STD E200V Universal Testing Machine (UTM) was used to conduct the testing. The findings showed that model 1's tensile load was 5761.75 N. In contrast, it was 2538.01 N for model 2. The ANOVA analysis and S/N ratio results showed that the two models' ideal parameters were different. The ideal values were 55 A current, 15 L/min flow rate, and 10 mm weld bead diameter for model 1 ( $M_1$ ), and 50 A current, 18 L/min flow rate, and 5 mm weld bead diameter for model 2 ( $M_2$ ). According to an ANOVA analysis, the two factors that most affected each model's tensile stress were the gas flow rate and the weld bead diameter, whereas electric current had the least effect. These results imply that the best welding parameter settings need to be modified based on the particular specimen model being used.

## 1. PENGANTAR

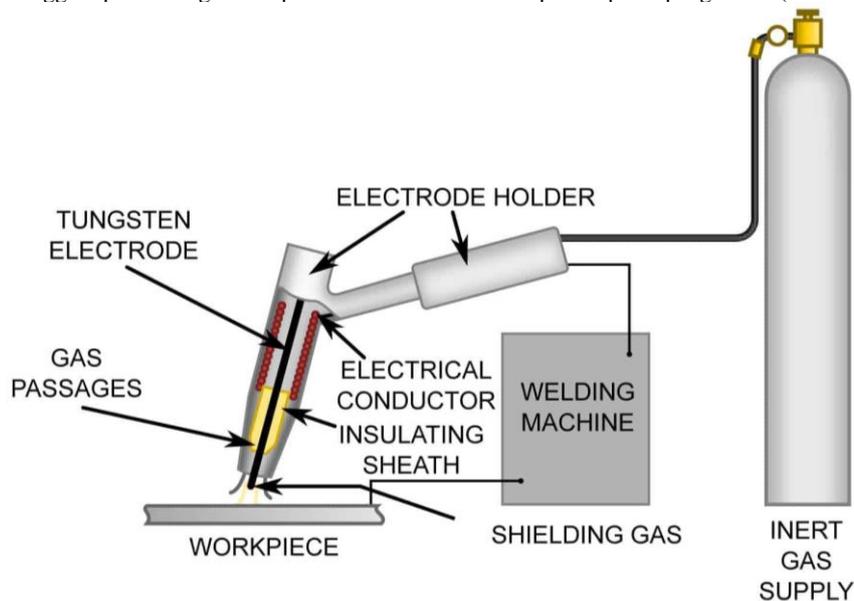
Proses pengelasan merupakan suatu proses penyambungan secara termal dengan meleburkan dan menyatukan bagian tepi bahan dasar yang disambung (Timings, 2008). Skema pengelasan secara umum ditampilkan pada bagan yang terdapat pada Gambar 1 (Weman, 2003). Biasanya, logam pengisi cair ditambahkan untuk menghasilkan logam dengan karakteristik yang berbeda dengan logam dasarnya. Logam pengisi memiliki ketahanan korosi dan abrasi panas yang lebih tinggi dibandingkan logam induknya (Weman, 2003). Pengelasan menggunakan pelindung gas untuk menghindari karat dan keropos permukaan akibat pengelasan (Lawal dkk., 2023).



Gambar 1: Skema proses pengelasan secara umum

Pengelasan *Tungsten Inert Gas* (TIG) adalah salah satu teknik pengelasan yang paling banyak digunakan di industri manufaktur. Pengelasan TIG memiliki beragam aplikasi dan banyak dipilih di berbagai industri karena memiliki banyak kelebihan. Salah satu kelebihan utama pengelasan TIG adalah kemampuannya untuk menghasilkan sambungan yang sangat presisi dan estetik (Sahoo & Tripathy, 2021) (Varshney & Kumar, 2021). Pengelasan TIG dapat digunakan untuk menggabungkan material yang berbeda seperti baja karbon dengan material galvanis (Ogbonna dkk., 2019) (Kumar dkk., 2017). Menggabungkan material yang berbeda dapat membantu mengurangi biaya dengan menghilangkan kebutuhan untuk menggunakan material yang mahal dan langka (Shrivastava dkk., 2019). Dengan menggabungkan material yang berbeda, berat produk dapat dikurangi secara signifikan tanpa memengaruhi keselamatan atau struktural, dan biaya produksi juga dapat diminimalkan (Sivanantham dkk., 2019).

Proses pengelasan TIG melibatkan penggunaan busur listrik yang dihasilkan antara elektroda tungsten yang tidak terlarutkan pada permukaan logam kerja (Purba dkk., 2022). Skema pengelasan TIG ditampilkan pada Gambar 2. Gas mengalir pada sekitar elektroda untuk melindungi area pengelasan dari kontaminasi udara sekitar. Gas yang digunakan adalah argon karena tidak bereaksi dengan material apapun sehingga bisa menjaga dari kontaminasi zat-zat yang bisa mempengaruhi kualitas pengelasan. Argon merupakan gas terbanyak ketiga di atmosfer Bumi yang jumlahnya sekitar 0,934% dari udara (Angra dkk., 2020). Laju aliran gas argon ditentukan seoptimal mungkin karena laju yang lebih tinggi dapat meningkatkan porositas dan kontaminasi pada lapisan pengelasan (Dadsetani dkk., 2019).



Gambar 2: Ilustrasi pengelasan TIG

Kualitas pengelasan TIG dipengaruhi oleh berbagai parameter yaitu arus listrik, laju aliran gas, dan diameter kampuh. Arus yang digunakan dalam proses pengelasan TIG memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kualitas dan karakteristik hasil las. Arus TIG dapat disesuaikan untuk memenuhi kebutuhan spesifik dari material. Bila arus yang digunakan terlalu rendah akan menyebabkan sulitnya penyalan busur listrik (Gundara & Biggunah, 2021). Arus yang lebih tinggi cenderung menghasilkan panas yang lebih besar yang dapat meningkatkan penetrasi dan kecepatan pengendapan logam. Arus yang terlalu tinggi dapat meningkatkan risiko deformasi dan perubahan sifat mekanis pada material dasar. Ketidaksesuaian parameter pengelasan dapat mengakibatkan cacat pada sambungan. Kombinasi parameter pengelasan yang optimal akan menghasilkan kualitas las yang tinggi (Vora dkk., 2019). Untuk mencegah dan mengatasi cacat pada pengelasan, sangat penting untuk memperhatikan parameter pengelasan yang tepat (Sukarman dkk., 2020).

Penelitian mengenai pengelasan TIG beda material sangat penting karena berbagai alasan. Parameter proses yang diterapkan pasti mempengaruhi perkembangan mikrostruktur dan sifat mekanik bahan yang disambung (Prashant dkk., 2015). Studi mengenai pengaruh

parameter pengelasan TIG pada penggabungan material yang berbeda sangat penting untuk memahami pengaruhnya terhadap hasil pengelasan (Haile, 2015) (Echezona dkk., 2021). Salahsatu cara yang sering dilakukan dalam menguji kualitas pengelasan adalah dengan menguji kekuatan tarik dan kekuatan geser (Sukarman dkk., 2021) (Mohanavel dkk., 2018) (Ahmad & Alam, 2019). Dari berbagai referensi yang ada maka penelitian ini dilakukan menggunakan beda material dengan berbagai variasi parameter. Dari hasil penelitian dihasilkan parameter yang optimal yang digunakan pada pengelasan TIG.

**2. METODE**

**2.1. Material**

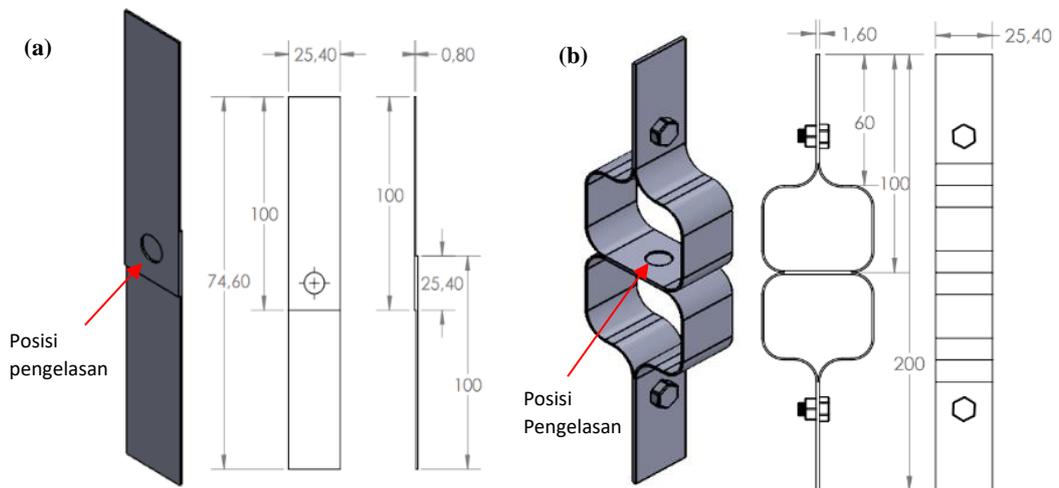
Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah karbon rendah SPCC-SD dan baja galvanis SGCC. Spesifikasi material yang digunakan disajikan pada **Tabel 1**. Ketebalan setiap material yang akan digunakan adalah 0.8 mm. Baja lembaran SPCC-SD merupakan baja karbon rendah dengan kandungan maksimum karbon adalah 0,15% (Japanese Standards Association, 2005). Baja galvanis SGCC merupakan baja SPCC-SD yang dilapisi dengan seng cair (Zn) sehingga memiliki ketahanan korosi yang baik (*JIS G 3302 Hot-Dip Zinc-Coated Steel Sheet and Strip*, 2007).

**Tabel 1:** Komposisi Kimia SPCC-SD Lembaran

Material	Komposisi Kimia (%)				Sifat Mekanis (N/mm <sup>2</sup> )	
	C	Mn	P	S	Yield Point	Tensile Strength
SPCC-SD (JIS G 3141)	0,15	0,6	0,1	0,05	-	270
SGCC (JIS G 3302)	0,15	0,8	0,05	0,05	205	270

**2.2. Model Spesimen**

Spesimen pengujian beban tarik (*tensile load*) dilakukan menggunakan dua model yang berbeda seperti ditampilkan pada **Gambar 3a** model 1 ( $M_1$ ) dan **Gambar 3b** model 2 ( $M_2$ ). Terminologi beban tarik digunakan karena jika menggunakan kekuatan tarik (*tensile strength*) akan terjadi kesulitan dalam mengukur luas permukaan selama proses pengelasan yang membuatnya tidak praktis. Oleh karena itu, pengujian yang dapat dilakukan akan menggunakan beban tarik yang diukur dalam satuan Newton (N). Diameter lubang yang berada pada material SPCC-SD akan difungsikan sebagai diameter kampuh las dengan variasi yaitu 5, 8, dan 10 mm. Proses pengelasan dilakukan menggunakan mesin las TIG berkapasitas 200A. Proses pengelasan menggunakan elektroda tungsten *thorium* dengan ukuran diameter 1,6 mm.



**Gambar 3:** Model pengujian beban tarik: (a) model 1 ( $M_1$ ) dan (b) model 2 ( $M_2$ )

**2.3. Model eksperimental Taguchi**

Metode Taguchi ditemukan oleh ahli statistik Jepang Dr. Genichi Taguchi yaitu suatu pendekatan untuk perancangan produk dan proses yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas sambil mengurangi keragaman. Hal ini dapat mengurangi biaya eksperimen dan menghemat waktu (Chaudhari dkk., 2019). Model eksperimental Taguchi diaplikasikan pada proses pengelasan menggunakan perangkat lunak Minitab. Minitab merupakan salah satu program statistik dengan aplikasi luas yang digunakan untuk analisis data penelitian ilmiah di berbagai bidang (Ramadan & Boghdadi, 2020). Dengan menggunakan tiga variabel *input* atau variabel masukan dan tiga tingkat percobaan, maka model eksperimen Taguchi disajikan pada **Tabel 2**.

**Tabel 2:** Model Eksperimen Taguchi

Kode	Parameter pengelasan TIG	Tingkat Percobaan		
		1	2	3
A	Arus listrik (A)	45	50	55
B	Laju aliran gas (L/menit)	12	15	18
C	Diameter kampuh (mm)	5	8	10

#### 2.4. Pengujian Beban Tarik

Pengujian beban tarik dilakukan untuk menentukan nilai gaya maksimum (N) pada tiap parameter yang diuji. Pengujian ini dilakukan menggunakan mesin UTM (*Universal testing machine*) Shimadzu AGS-X 10kN STD E200V yang berkapasitas 10 kN seperti ditampilkan pada Gambar 4. Kecepatan penarikan sampel yang dilakukan adalah sebesar 33 mm/menit. Pengujian dilakukan berdasarkan matrik yang ditampilkan pada Tabel 3.



Gambar 4: Proses pengujian kekuatan geser pada mesin UTM

Tabel 3: Matrik Pengujian Beban Tarik

Kode pengujian	Arus listrik (A)	Laju aliran gas (L/menit)	Diameter kampuh (mm)
A <sub>1</sub> B <sub>1</sub> C <sub>1</sub>	45	12	5
A <sub>1</sub> B <sub>2</sub> C <sub>2</sub>	45	15	8
A <sub>1</sub> B <sub>3</sub> C <sub>3</sub>	45	18	10
A <sub>2</sub> B <sub>1</sub> C <sub>2</sub>	50	12	8
A <sub>2</sub> B <sub>2</sub> C <sub>3</sub>	50	15	10
A <sub>2</sub> B <sub>3</sub> C <sub>1</sub>	50	18	5
A <sub>3</sub> B <sub>1</sub> C <sub>2</sub>	55	12	8
A <sub>3</sub> B <sub>1</sub> C <sub>3</sub>	55	15	10
A <sub>3</sub> B <sub>1</sub> C <sub>1</sub>	55	18	5

#### 2.5. S/N ratios (Signal-to-Noise ratios)

*S/N ratios* (*Signal-to-Noise ratios*) digunakan dalam konteks analisis kualitas dan perbaikan proses. *S/N ratios* adalah ukuran yang digunakan dalam metode Taguchi untuk memperbaiki kualitas produk dan proses. Analisis dilakukan dengan mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi terhadap kualitas. *Signal* merupakan representasi dari nilai yang diinginkan, sedangkan *noise* merupakan representasi nilai yang tidak diinginkan. Analisis *signal-to-noise ratio* (*S/N Ratio*) dapat dilakukan dengan menggunakan pilihan seperti “*Larger is better*” (persamaan 1), “*Smaller is better*” (persamaan 2), dan “*Nominal is best*” (persamaan 3) (Chaudhari dkk., 2019) (Omprakasam dkk., 2022).

$$\text{Larger is better} = SN_L = -10 \log \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n \frac{1}{y_i^2} \right] \quad (1)$$

$$\text{Smaller is better} = SN_S = -10 \log \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n y_i^2 \right] \quad (2)$$

$$\text{Nominal is best} = SN_N = -10 \log \left[ \frac{\bar{y}^2}{s^2} \right] \quad (3)$$

Dimana:

$n$  = Nomor percobaan

$y_i$  = Faktor respons

$\bar{y}$  = Faktor respons rata-rata

$s$  = Varians faktor respons

Penelitian ini menggunakan opsi *S/N ratio* dengan karakteristik data *larger is better* karena kekuatan maksimal merupakan hal yang ingin diperoleh dalam penelitian ini. *S/N ratio* ditentukan menggunakan persamaan 1 yang menunjukkan *signal* yang diperoleh lebih besar dibanding dengan *noise* yang terjadi (Shanmugasundar dkk., 2019).

#### 2.6. Analysis of variance (ANOVA)

ANOVA adalah singkatan dari “*Analysis of Variance*” yang merupakan suatu teknik statistik yang digunakan untuk menganalisis perbedaan antara rata-rata dari tiga kelompok atau lebih. ANOVA memeriksa apakah terdapat perbedaan signifikan antara rata-rata kelompok-kelompok tersebut. ANOVA menghasilkan nilai F-statistik dan *P-value* yang dapat digunakan untuk menentukan signifikansi dari rata-rata kelompok. Jika nilai *P-value* kurang dari tingkat signifikansi yang ditentukan sebelumnya (biasanya 0,05), maka kita dapat menyimpulkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan di antara rata-rata kelompok. Dalam penelitian pengelasan TIG, tujuan dari analisis varian (ANOVA) adalah untuk menyelidiki parameter pengelasan mana yang signifikan mempengaruhi hasil pengelasan.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

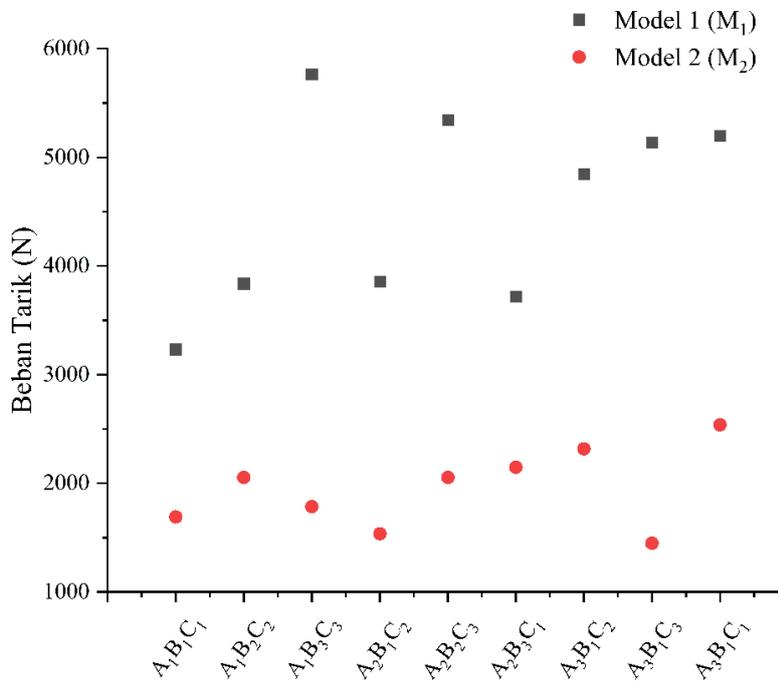
#### 3.1. S/N ratios (Signal-to-Noise ratios)

Hasil pengujian beban tarik dari kedua model disajikan pada **Tabel 4** yang menunjukkan bahwa hasil pengujian beban tarik pada model 1 dan 2 masing-masing adalah 5761,75 N dan 2538,01 N. Parameter optimum yang didapatkan untuk kekuatan geser dan kekuatan tarik berturut-turut adalah pada arus 55 dan 50 A, *flowrate* 15 dan 18 L/menit serta diameter kampuh las 10 dan 5 mm. Dari semua kombinasi parameter yang digunakan menunjukkan bahwa nilai beban tarik model 1 lebih besar dibanding dengan model 2. Hal ini disebabkan karena pada model 1 sambungan las berperan lebih optimal dalam menahan beban, sedangkan pada model 2 spesimen cenderung rusak pada bagian luar titik pengelasan. Perbedaan hasil dari kedua model tersebut tidak bisa dibandingkan model mana yang lebih optimal karena memiliki aplikasi yang berbeda. Analisis yang bisa dilakukan adalah mencari parameter yang paling optimal untuk kedua model tersebut.

Pada gambar 5, dapat diamati bahwa nilai beban tarik terendah terjadi pada sampel A<sub>1</sub>B<sub>1</sub>C<sub>1</sub> untuk model 1 dan A<sub>2</sub>B<sub>1</sub>C<sub>2</sub> untuk model 2, sedangkan yang tertinggi pada sampel A<sub>1</sub>B<sub>3</sub>C<sub>3</sub> untuk model 1 dan A<sub>3</sub>B<sub>1</sub>C<sub>1</sub> untuk model 2. Hal ini menunjukkan bahwa setiap parameter mempunyai pengaruh yang berbeda tergantung dengan model pengelasan yang digunakan. Oleh sebab itu perlu menekankan pentingnya menemukan kombinasi parameter yang konsisten dalam menghasilkan beban tarik untuk berbagai model pengelasan. Dengan demikian setiap model pengelasan mempunyai parameter acuan agar mendapatkan hasil pengelasan yang berkualitas.

**Tabel 4:** Hasil Pengujian Beban Tarik dan S/N Ratio

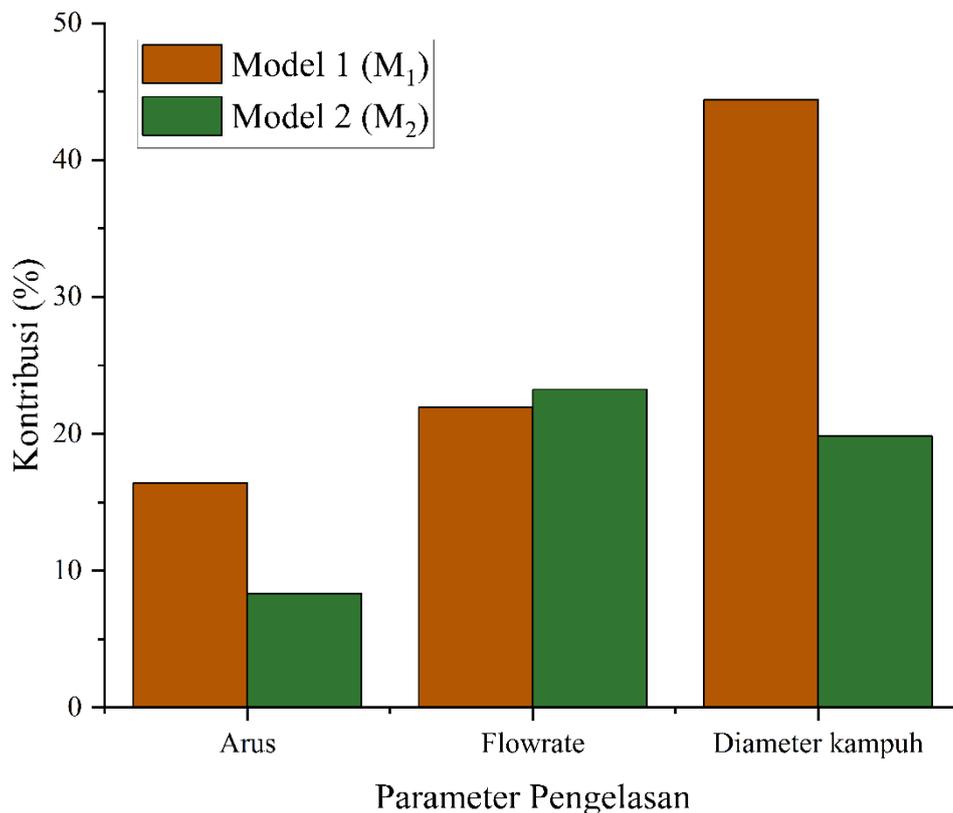
Kode	Arus (A)	Flowrate (L/menit)	Diameter kampuh Las (mm)	Beban tarik (N)		S/N Ratio	
				M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>
A <sub>1</sub> B <sub>1</sub> C <sub>1</sub>	45	12	5	3232,07	1690,85	70,15	63,69
A <sub>1</sub> B <sub>2</sub> C <sub>2</sub>	45	15	8	3837,46	2054,58	71,62	65,44
A <sub>1</sub> B <sub>3</sub> C <sub>3</sub>	45	18	10	5761,75	1786,08	75,16	64,68
A <sub>2</sub> B <sub>1</sub> C <sub>2</sub>	50	12	8	3857,65	1536,51	71,73	63,68
A <sub>2</sub> B <sub>2</sub> C <sub>3</sub>	50	15	10	5341,46	2054,66	74,55	65,97
A <sub>2</sub> B <sub>3</sub> C <sub>1</sub>	50	18	5	3718,05	2147,73	70,36	66,50
A <sub>3</sub> B <sub>1</sub> C <sub>2</sub>	55	12	8	4848,45	2317,73	72,92	65,42
A <sub>3</sub> B <sub>1</sub> C <sub>3</sub>	55	15	10	5138,65	1448,87	74,12	62,17
A <sub>3</sub> B <sub>1</sub> C <sub>1</sub>	55	18	5	5199,18	2538,01	74,29	66,03



**Gambar 5:** Hasil pengujian beban tarik

**Tabel 5** menunjukkan bahwa S/N Ratio beban tarik pada model 1 yang tertinggi dicapai pada arus di level-3, *flowrate* di level-2, dan diameter kampuh las di level-3. Pada model 2 pada arus di level-2, *flowrate* di level-3, dan diameter kampuh las di level-1. Seperti ditunjukkan pada **Gambar 6a** yang menunjukkan bahwa parameter yang optimal pada model 1 untuk arus, *flowrate*, dan diameter kampuh masing-masing adalah 55 A, 15 L/menit, dan 10 mm. Pada **Gambar 6b** menunjukkan bahwa untuk model 2 parameter yang optimal untuk arus, *flowrate*, dan diameter kampuh masing-masing adalah 50 A, 18 L/menit, dan 5 mm. Perbedaan nilai parameter yang optimal kedua model tersebut menunjukkan bahwa adanya keterkaitan antar parameter.





Gambar 7: Kontribusi setiap parameter terhadap beban tarik

#### 4. KESIMPULAN

Penelitian ini mengungkapkan bahwa parameter pengelasan memiliki pengaruh signifikan terhadap kekuatan beban tarik pada material baja karbon rendah SPCC-SD dan baja galvanis SGCC. Hasil pengujian menunjukkan bahwa beban tarik untuk model 1 adalah 5761,75 N, sedangkan untuk model 2 adalah 2538,01 N. Hasil analisis menunjukkan bahwa kombinasi parameter pengelasan yang optimal berbeda untuk setiap model spesimen yang digunakan. Pada model 1 ( $M_1$ ), arus listrik 55 A, laju aliran gas 15 L/menit, dan diameter kumpuh 10 mm memberikan hasil terbaik, sementara pada model 2 ( $M_2$ ), kombinasi arus listrik 50 A, laju aliran gas 18 L/menit, dan diameter kumpuh 5 mm adalah yang paling optimal. Selain itu, laju aliran gas dan diameter kumpuh las ditemukan sebagai faktor yang memberikan kontribusi terbesar terhadap kekuatan tarik, sedangkan arus listrik memiliki pengaruh yang paling kecil. Temuan ini menekankan pentingnya penyesuaian parameter pengelasan sesuai dengan jenis dan model spesimen untuk mencapai kekuatan tarik yang diinginkan dan konsisten.

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis dengan penuh rasa syukur menyampaikan penghargaan dan mengucapkan terima kasih kepada Universitas Buana Perjuangan Karawang atas dukungan serta penyediaan fasilitas untuk penelitian ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, A., & Alam, S. (2019). Parametric optimization of TIG welding using Response Surface Methodology. In *Alam/ Materials Today: Proceedings* (Vol. 18).
- Angra, S., Thakur, L., & Singh, J. (2020). Effect of argon flow rate on the weld bead characteristics of TIG coating. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 804(1).
- Chaudhari, V., Bodkhe, V., Deokate, S., Mali<sup>4</sup>, B., & Mahale<sup>5</sup>, R. (2019). Parametric Optimization Of Tig Welding On Ss 304 And Ms Using Taguchi Approach. *International Research Journal of Engineering and Technology*.
- Dadsetani, R., Sheikhzadeh, G. A., Safaei, M. R., Alnaqi, A. A., & Amiriyoony, A. (2019). Exergoeconomic optimization of liquefying cycle for noble gas argon. *Heat and Mass Transfer/Waerme- Und Stoffuebertragung*, 55(7), 1995–2007.
- Echezona, N., Akinlabi, S. A., Jen, T. C., Fatoba, O. S., Hassan, S., & Akinlabi, E. T. (2021). Tig Welding of Dissimilar Steel: A Review. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, 1–9.
- Gundara, G., & Biggunah, A. A. (2021). Analisis Kekuatan Arus Terhadap Ketangguhan Dan Ketahanan Sambungan Pada Proses Las Tig. In *Jurnal Multidisiplin Madani (MUDIMA)* (Vol. 1, Issue 3).

- Haile, A. (2015). The Parameters and Equipments Used in TIG Welding: A Review. In *The International Journal Of Engineering And Science (IJES)*.
- Japanese Standards Association. (2005). *JIS G 3141 Cold-reduced carbon steel sheets and strips*.
- JIS G 3302 Hot-dip zinc-coated steel sheet and strip*. (2007).
- Kumar, S., Singh, P. K., Prasad, S. B., Singh, K., & Patel, D. (2017). Optimization of TIG Welding Process Parameters Using Taguchi's Analysis and Response Surface Methodology. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET)*, 8(11), 932–941.
- Lawal, S. L., Afolalu, S. A., Jen, T. C., & Akinlabi, E. T. (2023). Tungsten inert gas (TIG) and metal inert gas (MIG) welding applications - Critical review. *E3S Web of Conferences*, 390.
- Mohanavel, V., Ravichandran, M., & Suresh Kumar, S. (2018). Optimization of tungsten inert gas welding parameters to attain maximum impact strength in AA6061 alloy joints using Taguchi Technique. In *Materials Today: Proceedings* (Vol. 5).
- Ogbonna, O. S., Akinlabi, S. A., Madushele, N., Mashinini, P. M., & Abioye, A. A. (2019). Application of MIG and TIG Welding in Automobile Industry. *Journal of Physics: Conference Series*, 1378(4).
- Omprakasam, S., Marimuthu, K., Raghu, R., & Velmurugan, T. (2022). Statistical Modelling and Optimization of TIG Welding Process Parameters Using Taguchi's Method. *Strojnicki Vestnik/Journal of Mechanical Engineering*, 68(3), 200–209.
- Prashant, \*, Singh, K., Kumar, P., Singh, B., Singh, R. K., & Tech Scholar, M. (2015). A review on TIG welding for optimizing process parameters on dissimilar joints. In *Journal of Engineering Research and Applications* (Vol. 5, Issue 2).
- Purba, Z., Bahri, S., & Syarif Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Lhokseumawe JIBanda Aceh-Medan Km, J. (2022). Pengaruh variasi kampuh las terhadap ketangguhan sambungan hasil pengelasan material baja AISI 1050 The effect of weld groove variations on the toughness of welding joints of AISI 1050 material. In *Journal of Welding Technology* (Vol. 4, Issue 1).
- Ramadan, N., & Boghdadi, A. (2020). Parametric Optimization of TIG Welding Influence On Tensile Strength of Dissimilar Metals SS-304 And Low Carbon Steel by Using Taguchi Approach. *American Journal of Engineering Research*, 9, 7–14.
- Sahoo, A., & Tripathy, S. (2021). Improvement in Depth of Weld Penetration During TIG, Activated-TIG, and Pulsed TIG Welding: A Review. *International Journal of Manufacturing, Materials, and Mechanical Engineering (IJMMME)*, 11(2), 68–86.
- Shanmugasundar, G., Karthikeyan, B., Santhosh Ponvell, P., & Vignesh D, V. (2019). Optimization of Process Parameters in TIG Welded Joints of AISI 304L-Austenitic Stainless Steel using Taguchi's Experimental Design Method. In *Materials Today: Proceedings* (Vol. 16).
- Shrivastava, S. P., Vaidya, S. K., Khandelwal, A. K., & Vishvakarma, A. K. (2019). Investigation of TIG welding parameters to improve strength. *Materials Today: Proceedings*, 26, 1897–1902.
- Sivanantham, A., Manivannan, S., & Kumares Babu, S. P. (2019). Parametric optimization of dissimilar tig welding of aisi 304l and 430 steel using taguchi analysis. *Materials Science Forum*, 969 MSF, 625–630.
- Sukarman, Abdulah, A., Djafar Shieddieque, A., Rahdiana, N., & Khoirudin. (2021). *Optimization Of The Resistance Spot Welding Process Of Secc-Af And Sgcc Galvanized Steel Sheet Using The Taguchi Method*. 25(3), 319–328.
- Sukarman, Abdulah, A., Jatira, Rajab, D. A., Rohman, Anwar, C., Aminanda, Y., & Akbar, M. A. (2020). Optimization of tensile-shear strength in the dissimilar joint of Zn-coated steel and low carbon steel. *Automotive Experiences*, 3(3), 115–125.
- Timings, R. (2008). *Fabrication and Welding Engineering*. Routledge.
- Varshney, D., & Kumar, K. (2021). Application and use of different aluminium alloys with respect to workability, strength and welding parameter optimization. In *Ain Shams Engineering Journal* (Vol. 12, Issue 1, pp. 1143–1152). Ain Shams University.
- Vora, J. J., Abhishek, K., & Srinivasan, S. (2019). Attaining optimized A-TIG welding parameters for carbon steels by advanced parameter-less optimization techniques: with experimental validation. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 41(6).
- Weman, Klas. (2003). *Welding processes handbook*. Woodhead Pub.