

# PENGARUH KECEPATAN PENGELASAN TERHADAP SIFAT FISIS DAN MEKANIS PADA PENGELASAN MIG DOUBLE LAYER KONVENSIONAL BAHAN AA 5052

Eki Afifuddin.<sup>a</sup>, Mudjijana<sup>b</sup>, Himarosa, Rela Adi Himarosa.<sup>c</sup>

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta  
 Jalan Lingkar Selatan Tamantirto, Kasihan, Bantul, DI Yogyakarta, Indonesia, 55183  
[ekiafifuddin@gmail.com](mailto:ekiafifuddin@gmail.com), [mudjijana@ugm.ac.id](mailto:mudjijana@ugm.ac.id), [rela.himarosa@gmail.com](mailto:rela.himarosa@gmail.com)

---

## Abstrak

Kecepatan pengelasan adalah parameter yang dapat mempengaruhi masukan panas dari pengelasan MIG *double layer* konvensional pada Aluminium 5052. Penelitian ini bertujuan untuk mencari tahu kemampuan sambungan las menggunakan metode MIG *double layer* konvensional dengan variasi kecepatan 6 mm/s, 7 mm/s, dan 8 mm/s. Pengujian yang dilakukan adalah uji distorsi, uji tarik, uji impact, uji kekerasan, dan struktur makro dan mikro. Bahan yang akan disambung adalah aluminium seri AA 5052 dengan ketebalan 5 mm. Parameter tegangan tetap 23 Volt dan arus 130 Ampere. Hasil yang diperoleh pada pengujian yang dilakukan adalah variasi kecepatan 6 mm/s memiliki nilai distorsi terbesar dengan nilai 1,79 mm. Nilai kekuatan tarik *ultimate* terbesar pada variasi kecepatan 7 mm/s yaitu 164,39 MPa. Nilai kekerasan tertinggi pada *weld metal* 62,64 VHN<sub>0,1</sub> pada variasi kecepatan 7 mm/s, pada HAZ 58,1 VHN<sub>0,1</sub> pada variasi kecepatan 6 mm/s, pada *base metal* 63,07 VHN<sub>0,1</sub> pada variasi kecepatan 8 mm/s. kekuatan impact tertinggi 0,29 J/mm<sup>2</sup> pada variasi kecepatan 8 mm/s. Pada hasil pengamatan struktur makro terlihat batas butir lebih besar pada variasi kecepatan las 6 mm/s, batas butir aluminium yang semakin besar akan menjadikan nilai kekerasannya semakin rendah.

Kata kunci: pengelasan, MIG *double layer* konvensional, Aluminium 5052, uji tarik, distorsi, uji impact, struktur mikro.

## Abstract

*Welding speed is a parameter that can affect the heat input from welding MIG double conventional layer on Aluminum 5052. This study aims to find out the ability of welded joints using conventional MIG double layer method with variations in speed of 6 mm / s, 7 mm / s and 8 mm / s. Tests carried out are test distortion, tensile test, impact test, hardness test, and macro and micro structure. The material to be connected is aluminum series AA 5052 with a thickness of 5 mm. Fixed voltage parameters 23 Volts and 130 Ampere currents. The results obtained from the tests carried out were variations in speed of 6 mm / s having the largest distortion value with a value of 1.79 mm. The greatest ultimate tensile strength value at a speed variation of 7 mm / s, namely 164.39 MPa. The highest hardness value at 62.64 VHN<sub>0.1</sub> weld metal at a speed variation of 7 mm / s, on HAZ 58.1 VHN<sub>0,1</sub> at 6 mm / s speed variation, on 63.07 VHN<sub>0,1</sub> base metal at 8 mm speed variation / s. highest impact strength of 0.29 J / mm<sup>2</sup> at a variation of speed of 8 mm / s. On the results of observations of the macro structure, the grain boundaries are larger in the variation of the welding speed of 6 mm / s, the larger the grain boundary of aluminum, the lower the hardness value.*

**Keywords:** *welding, conventional MIG double layer, Aluminum 5052, tensile test, distortion, impact test, microstructure. keywords consists of 3 to 5 words or phrases separated by semi colon*

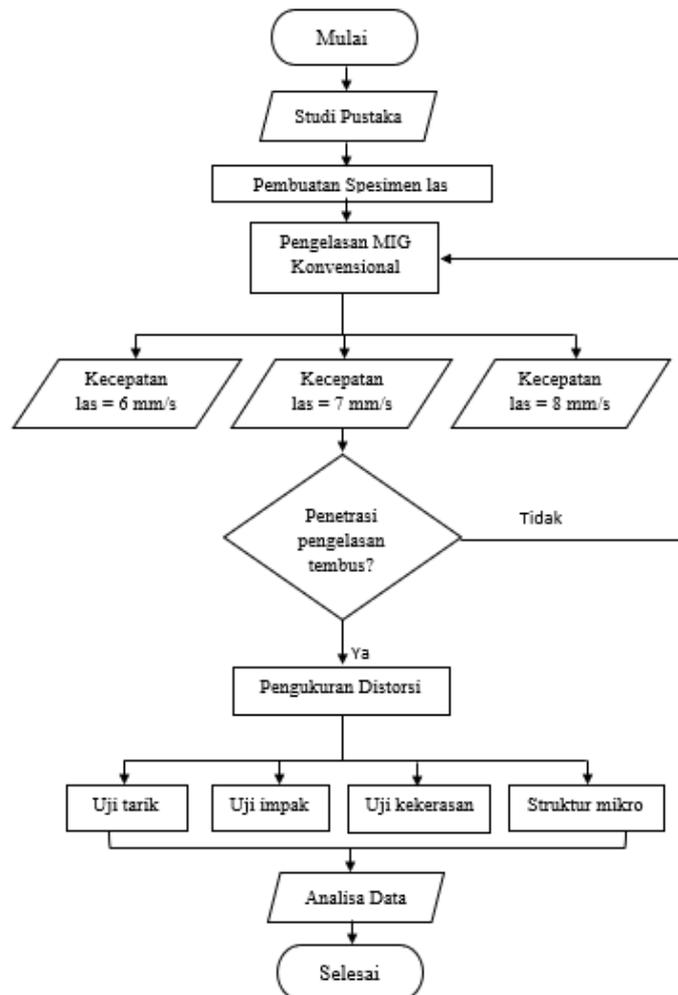
---

## 1. PENDAHULUAN

Aluminium dan paduan aluminium merupakan logam ringan yang mempunyai kekuatan tinggi, ketahanan korosi yang dan hantaran listrik yang baik (Wiryosumarto dan Okumura, 2000). Aluminium adalah salah satu material yang digunakan dalam banyak bidang pembangunan, seperti untuk konstruksi, industri otomotif, perkapalan, pesawat terbang dan lainnya (Surdia dan Saito, 1999). Dalam pemanfaatannya, aluminium perlu disambung dengan metode pengelasan yang tepat sehingga diperoleh sambungan logam yang kuat dan tahan lama.

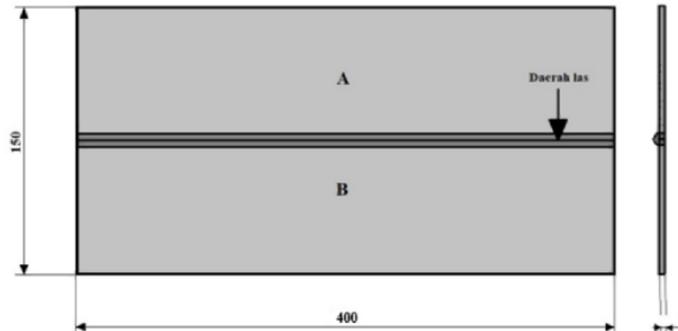
Las gas, las busur elektroda terbungkus, dan las sinar elektron dapat digunakan untuk mengelas aluminium dan paduannya. Tetapi walaupun demikian yang paling banyak digunakan untuk mengelas aluminium adalah las busur gas mulia. Dengan cara pengelasan ini lapisan oksida yang terjadi pada permukaan logam aluminium dipecah dan dibersihkan oleh busur listrik yang digunakan karena selama pengelasan terlindung oleh gas mulia maka permukaannya bersih dan menyebabkan terbentuknya sifat-sifat yang menguntungkan (Wiryosumarto dan Okumura, 2000). Dalam proses pengelasan, kualitas hasil pengelasan dipengaruhi oleh energi panas yang berarti dipengaruhi juga oleh arus las, tegangan dan kecepatan pengelasan. Adanya masukan panas pada logam ini juga mengakibatkan adanya tegangan sisa yang nantinya akan menimbulkan distorsi (Safrisal, 2016).

## 2. METODE PENELITIAN



Gambar 1. Diagram alir penelitian

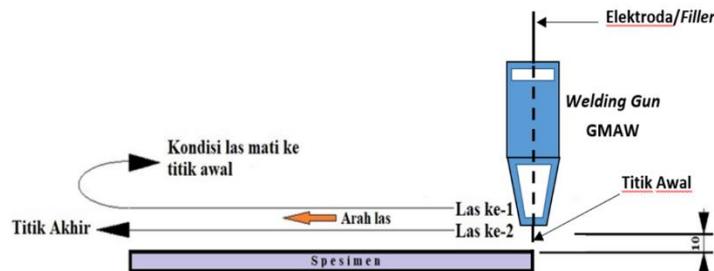
Pada penelitian bahan yang digunakan adalah plat Aluminium dengan seri AA 5052. Kuat arus yang digunakan adalah 130 A dengan tegangan 23 V. skema spesimen terlihat seperti (Gambar) dimensi ukuran plat yang akan dilakukan pengelasan. Skema spesimen dan dimensi spesimen dapat dilihat pada gambar dibawah.



Gambar 2. Skemas spesimen pengelasan dan dimension dalam milimeter

### 2.1 Proses pengelasan MIG *double layer* konvensional

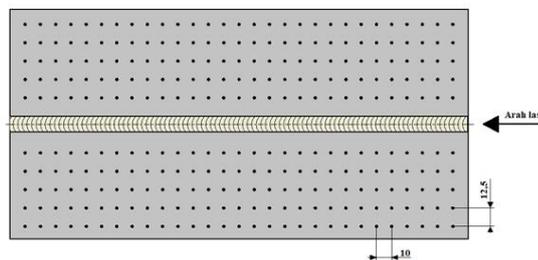
Pengelasan menggunakan 1 mesin las, pada proses pengelasan torch akan diletakkan pada alat pengelasan semiotomatis yang sudah diset dengan variasi kecepatan ditentukan. Prinsip pengelasan MIG 2 ayer konvensional adalah melakukan 2 kali pengelasan dengan pengelasan kedua dilakukan setelah suhu plat menjadi suhu ruangan pada data yang ditampilkan dari *thermocouple*.



Gambar 3. Skema pengelasan MIG *double layer* konvensional

### 2.2 Pengukuran Distorsi

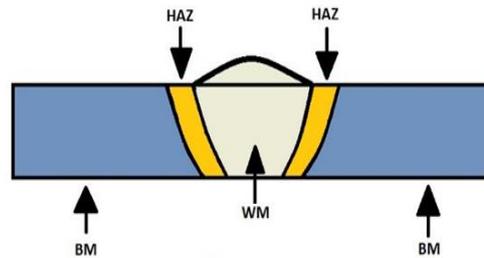
Pengukuran distorsi dilakukan untuk mengetahui seberapa besar deformasi dari tiap – tiap hasil pengelesan yang mana deformasi tersebut terjadi setelah plat mengalami perubahan suhu yang disebabkan oleh las MIG *double layer* konvensional. Pengukuran ini menggunakan dial indicator dengan cara mengukur nilai ketinggian permukaan dari titik-titik yang berbeda.



Gambar 4. Skema pengukuran distorsi

### 2.3 Pengujian Struktur Mikro

Uji struktur mikro bertujuan untuk mengetahui bagaimana bentuk struktur mikro dari hasil las MIG Double Layer Konvensional dengan variasi kecepatan las yang berbeda. Pada uji struktur mikro bagian yang diamati meliputi daerah logam las, daerah HAZ( heat affected zone), dan logam induk.

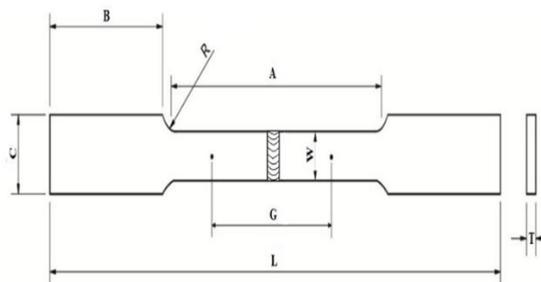


**Gambar 5.** Daerah hasil las MIG *double layer* konvensional

Logam las (weld metal) merupakan daerah yang mengalami proses penetrasi logam dan penyatuan logam las (filler) dengan logam induk melalui sebuah pemanasan. Daerah terpengaruh panas akibat pengelasan (heat effected zone) merupakan daerah pada spesimen terpengaruh panas yang ditimbulkan adanya panas yang menyebar pada sisi-sisi luar daerah las (weld metal). Logam induk (base metal) merupakan daerah spesimen yang tidak terpengaruh atau daerah yang sedikit menerima panas saat proses pengelasan berlangsung.

#### 2.4 Pengujian tarik

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui nilai kekuatan luluh (yield strength) dan kekuatan tarik maksimal (*ultimate tensile strength*) dari spesimen las MIG *double layer* konvensional. Spesimen yang diuji terdapat 3 variabel dengan kecepatan pengelasan 6 mm/s, 7 mm/s, dan 8 mm/s. Spesimen yang diuji dibuat sesuai standar ASTM E8 seperti yang ditunjukkan pada (Gambar 6)



**Gambar 6.** Ukuran spesimen uji tarik (ASTM E8-E9)

Length (L)	= 150	mm
Length of reduced section(A)	= 60	mm
Gage length (G)	= 50	mm
Length of grip section (B)	= 45	mm
Width of grip section (C)	= 20	mm
Width (W)	= 12,5	mm
Thickness (T)	= 5	mm
Radius of fillet (R)	= 25	mm

Rumusan untuk mengetahui tegangan dan regangan pada benda uji dapat digunakan persamaan 1 dan 2 sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \quad (1)$$

Dimana :

$\sigma$  = Tegangan (kg/mm<sup>2</sup>)

P = Beban (kg)

A<sub>0</sub> = Luas penampang mula-mula (mm<sup>2</sup>)

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% \quad (2)$$

Dimana :

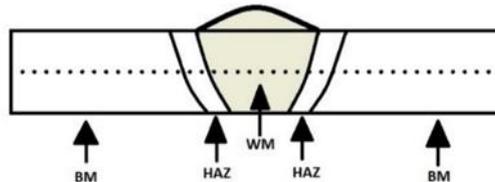
$\epsilon$  = Regangan(%)

$\Delta L$  = Selisi panjang ukuran sebelum dan sesudah patahan (mm)

$L_0$  = Panjang mula-mula (mm)

### 2.5 Pengujian kekerasan

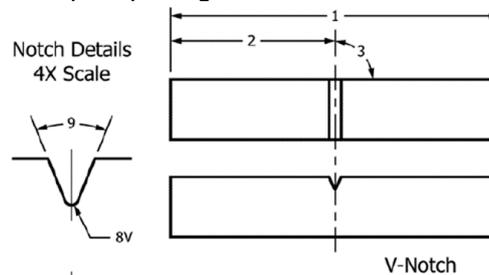
Pengujian kekerasan ini dilakukan untuk melihat nilai kekerasan dari bahan AA 5052 setelah mengalami proses pengelasan dengan variasi kecepatan las berbeda. Alat yang digunakan pada pengujian ini adalah alat uji dengan merek buehler dengan bentuk jenis indenter Vickers



**Gambar 7.** Skema pijakan indenter Vickers

### 2.6 Pengujian impak

Uji impak merupakan proses penyerapan energi potensial setelah pendulum beban diayunkan dari ketinggian tertentu yang ditumbukkan pada spesimen uji sehingga spesimen uji terjadi deformasi atau patah. Pengujian impak dilakukan untuk mengetahui nilai kekuatan pada spesimen pengelasan MIG double layer konvensional dengan bahan plat AA 5052. Pengujian impak ini menggunakan jenis pengujian impak charpy. Spesimen pengujian dipotong sesuai standar ASTM E23 seperti pada gambar 8.



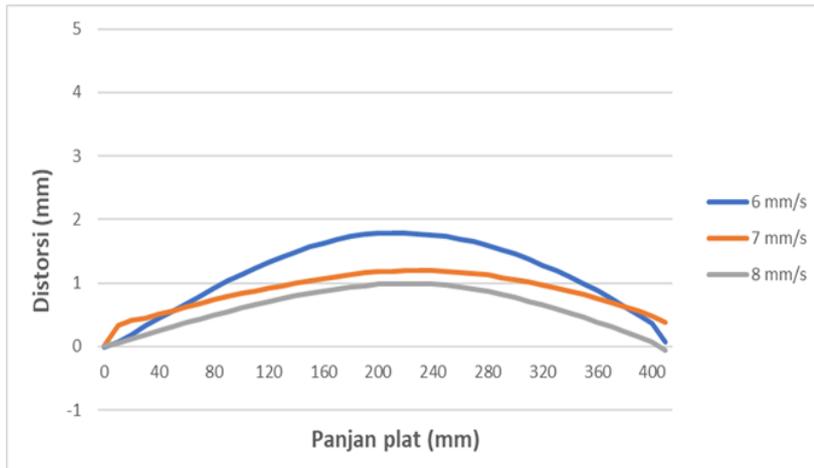
**Gambar 8.** Spesimen uji tarik dengan standar ASTM E23

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

The authors' manuscripts should be completed with title, abstract, keywords and the main text. Furthermore, the authors should present tables, figures, and equations in good order.

### 3.1 Pengukuran distorsi

Pengukuran distorsi dilakukan setelah plat mengalami proses pengelasan, pengukuran distorsi ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui perbedaan distorsi antar plat yang berbeda variasi kecepatan pengelasan, berikut hasil pengukuran distorsi terlihat pada Gambar 9.

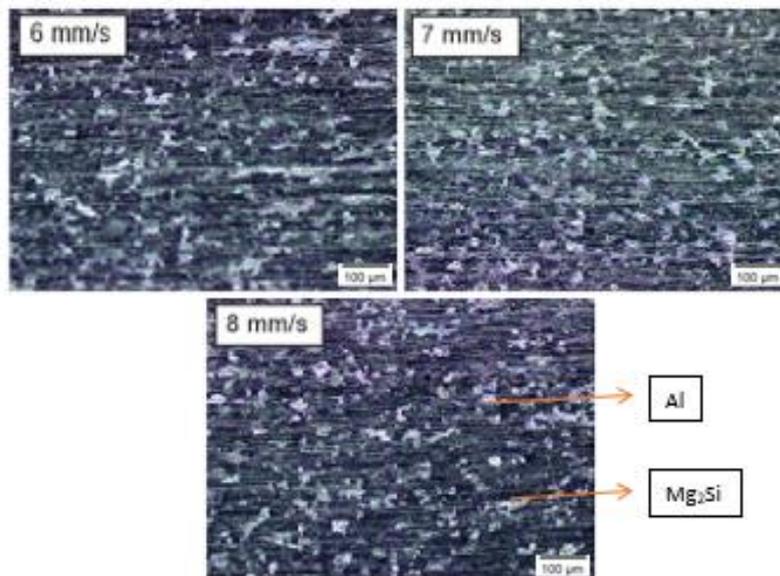


**Gambar 9.** Grafik distorsi hasil pengelasan

Dari grafik didapatkan distorsi yang berbeda dikarenakan kecepatan yang berbeda mempengaruhi masukan panas yang berbeda pada tiap plat, semakin rendah kecepatan pengelasan maka semakin tinggi masukan panas yang diterima oleh plat

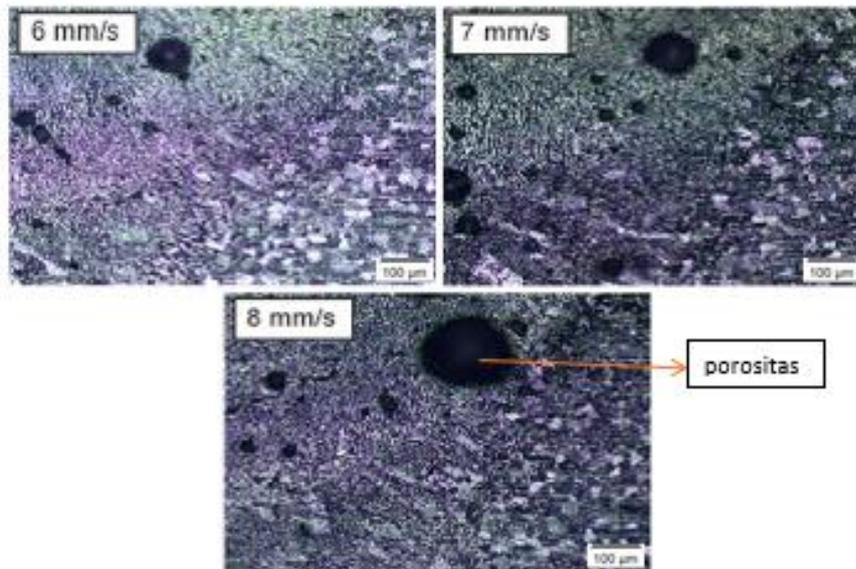
### 3.2 Hasil pengamatan struktur mikro

Proses pengamatan hasil struktur mikro dilakukan dengan alat mikroskop optic dengan perbesaran 100x. pengambilan gambar struktur mikro pada spesimen uji meliputi daerah *weld metal*, HAZ, dan *base metal* yang ditunjukkan pada Gambar 10 - 12.



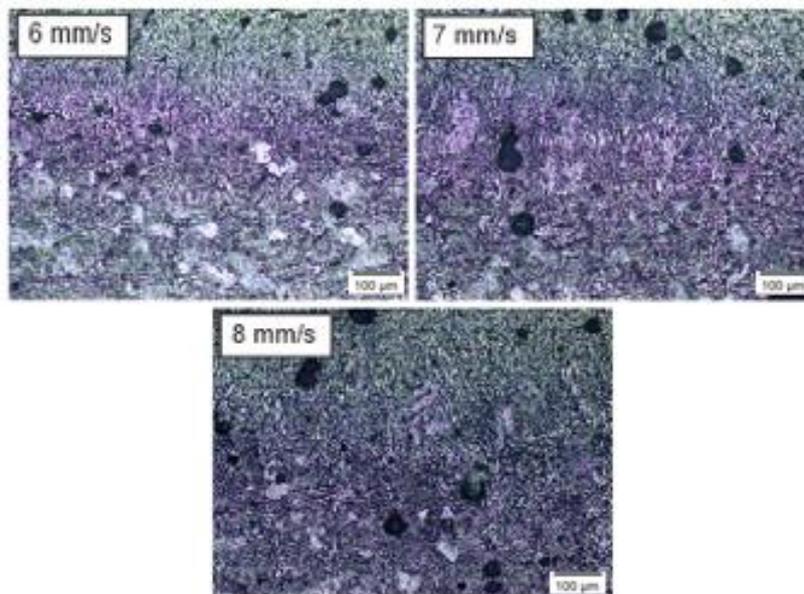
**Gambar 10.** Struktur mikro daerah base metal las MIG double layer konvensional

Terlihat pada gambar struktur mikro daerah base metal yang berbentuk bulir hampir sama tiap tiap spesimen. struktur yang terjadi pada daerah ini tidak terpengaruh panas secara langsung yang ditimbulkan oleh panas yang dihasilkan las.



**Gambar 11.** Struktur mikro daerah HAZ las MIG double layer konvensional

Pada bagian daerah HAZ terlihat perbedaan yang sangat jelas antara weld metal dan HAZ, hal ini dikarenakan pengaruh panas secara langsung yang mengakibatkan bulir pada struktur mikro semakin jelas, hal ini juga menandakan bahwa bagian HAZ lebih lunak dibanding weld metal dan base metal dikarenakan batas bulirnya semakin besar dan jelas terlihat.

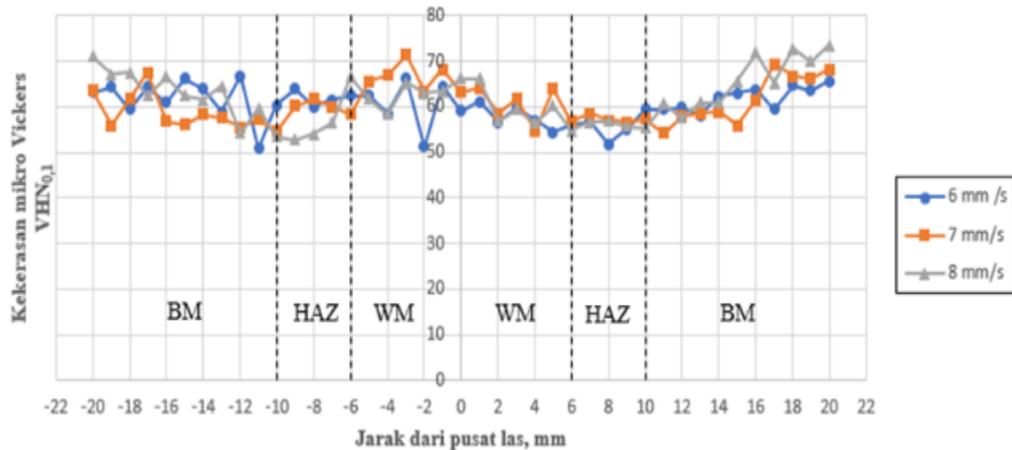


**Gambar 12.** Struktur mikro daerah weld metal 1 dan weld metal 2

Pada bagian weld metal tampak tidak banyak perbedaan, namun pada hasil struktur mikro pada spesimen dengan variasi kecepatan pengelasan 6 mm/s terlihat lebih jelas perbedaan *weld metal 1* dan *weld metal 2*, pada hasil struktur mikro untuk variasi kecepatan 6 mm/s juga terlihat batas bulir yang lebih besar yang menandakan spesimen lebih lunak pada bagian *weld metal*

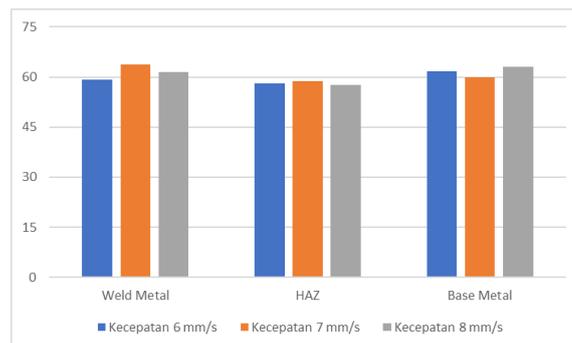
### 3.3 Hasil pengujian kekerasan

Pengujian kekerasan aluminium 5052 las MIG konvensional menggunakan micro hardness Vickers. Beban indentasi yang digunakan adalah 100 gram dengan waktu 10 detik. Perbedaan nilai kekerasan tiap variasi kecepatan dapat dilihat pada grafik hubungan nilai kekerasan mikro vicker terhadap jarak tiap pijakan indenter. Nilai jarak antar penetrasi pijakan indenter sebesar 0,5 mm. Perbandingan nilai kekerasan dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Grafik perbandingan nilai kekerasan

Berdasarkan grafik perbandingan nilai kekerasan yang terjadi pada tiap spesimen pengelasan menunjukkan bahwa nilai kekerasan tiap spesimen tidak jauh berbeda. Pada bagian *base metal* (BM) memperlihatkan nilai yang lebih tinggi dibanding nilai HAZ dikarenakan terjadi perubahan struktur pada daerah tersebut dikarenakan pengaruh panas saat proses pengelasan. Pada bagian *weld metal* (WM) ketiga spesimen juga tidak berbeda jauh. Hal tersebut juga bisa dilihat dari grafik rata-rata nilai kekerasan yang ditunjukkan pada Gambar 14.



Gambar 14. Perbandingan nilai rata rata kekerasan

Table 3.1 Nilai kekerasan rata-rata

Variasi Pengelasan	Weld Metal	HAZ	Base Metal
Kecepatan 6 mm/s	59,23	58,10	61,59
Kecepatan 7 mm/s	63,84	58,76	59,87
Kecepatan 8 mm/s	61,57	57,53	63,07

Berdasarkan nilai kekerasan rata rata nilai kekerasan tertinggi pada weld metal terdapat pada spesimen dengan variasi kecepatan pengelasan 7 mm/s, dan nilai terendah pada variasi kecepatan pengelasan 6mm/s. Pada bagian HAZ nilai kekerasan tertinggi didapatkan pada spesimen dengan variasi kecepatan pengelasan 7 mm/s dan nilai kekerasan terendah pada bagian HAZ didapatkan pada spesimen dengan variasi kecepatan pengelasan 8 mm/s. pada bagian base metal nilai kekerasan tertinggi didapatkan pada spesimen dengan variasi kecepatan las 8 mm/s dan nilai kekerasan terendah didapatkan pada variasi kecepatan pengelasan 7 mm/s..

### 3.4 Hasil uji tarik

Pengujian tarik menggunakan ASTM E8-09 sebagai referensi. Pengujian dilakukan untuk mengetahui nilai kekuatan luluh dan tarik dari spesimen yang sudah di las dengan variasi kecepatan pengelasan yang telah ditentukan. Hasil dari pengujian tarik ini menghasilkan grafik yang memperlihatkan nilai tegangan maksimal, tegangan luluh dan regangan patah.

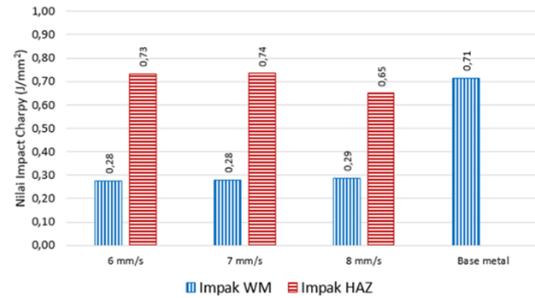


Gambar 15. Grafik perbandingan hasil uji tarik

Dari data grafik yang ditunjukkan pada Gambar 15 diatas memperlihatkan nilai tegangan maksimal pada *base metal* sebesar 223,15 MPa, nilai tegangan luluh *base metal* sebesar 173,79 MPa dan nilai regangan patah sebesar 17,63%. Kemudian nilai tegangan maksimal pada spesimen las dengan variasi kecepatan 6 mm/s sebesar 140,96 MPa, nilai tegangan luluh 117,27 MPa dan nilai regangan patah sebesar 8,18%. Spesimen las dengan variasi kecepatan 7 mm/s memiliki nilai tegangan maksimal sebesar 164,39 MPa, nilai tegangan luluh 143,06 MPa dan nilai regangan patah sebesar 13,58%. Spesimen las dengan variasi kecepatan 8 mm/s memiliki nilai tegangan maksimal sebesar 145,48 MPa, nilai tegangan luluh 113,95 MPa dan nilai regangan patah sebesar 9,66%. Spesimen pengelasan yang memiliki nilai tegangan maksimal, tegangan luluh dan regangan patah tertinggi adalah spesimen dengan variasi kecepatan 7 mm/s dibanding dengan variasi las dengan kecepatan pengelasan 8 mm/s dan 6 mm/s.

### 3.5 Hasil uji impak

Pada hasil dari pengujian impak terlihat nilai impak charpy yang tidak jauh berbeda pada bagian *weld metal* yaitu nilai impak tertinggi pada weld metal di dapatkan dari spesimen variasi kecepatan 8 mm/s dengan nilai impak charpy 0,29 J/mm<sup>2</sup>. Pada bagian HAZ yang mengalami nilai impak tertinggi adalah spesimen dengan variasi kecepatan pengelasan 7 mm/s dengan nilai impak charpy 0,74 J/mm<sup>2</sup>.



**Gambar 16.** Grafik hasil uji impak

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian pada sambungan las MIG Double Layer Konvensional dengan variasi kecepatan las 6 mm/s, 7 mm/s dan 8 mm/s, didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Distorsi terbesar pada spesimen hasil pengelasan terjadi pada variasi kecepatan las 6 mm/s, sedangkan hasil nilai distorsi terendah terjadi pada variasi kecepatan las 8 mm/s.
2. Dari hasil pengamatan struktur makro pengelasan, memperlihatkan pada kecepatan las 6 mm/s memiliki hasil penetrasi logam las yang tidak baik, hal tersebut dikarenakan masukan panas yang lebih lama dari variasi kecepatan yang lainnya.
3. Berdasarkan hasil pengujian mikro Vickers didapatkan nilai rata rata kekerasan weld metal tertinggi pada spesimen dengan variasi kecepatan 7 mm/s dengan nilai 63,84 VHN 0,1. Pada bagian HAZ nilai kekerasan tertinggi juga didapatkan pada spesimen dengan variasi kecepatan pengelasan 7 mm.s dengan nilai 58,76 VHN 0,1. Pada bagian base metal nilai kekerasan tertinggi didapatkan pada spesimen dengan variasi kecepatan pengelasan 8 mm/s dengan nilai 63,07 VHN0,1.
4. Spesimen pengelasan yang memiliki nilai tegangan maksimal, tegangan luluh dan regangan patah tertinggi adalah spesimen dengan variasi kecepatan 7 mm/s dengan nilai tegangan maksimal sebesar 164,39 MPa, nilai tegangan luluh 143,06 MPa dan nilai regangan patah sebesar 13.58%.
5. Pada pengujian impak nilai yang didapat dari 3 variasi pengelasan tidak berbeda jauh yaitu dengan nilai 0,28 J/mm<sup>2</sup> pada variasi kecepatan 6 mm/s dan 7 mm/s, pada spesimen kecepatan 8 mm/s mendapat nilai impak 0,29 J/mm<sup>2</sup>.
6. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan maka pengelasan dengan metode pengelasan MIG double layer konvensional yang paling optimal adalah dengan menggunakan kecepatan pengelasan 7 mm/s.

Dari hasil penelitian yang sudah dilakukan penulis menyarankan agar dilakukannya penelitian lebih lanjut dengan variasi kecepatan yang berbeda, kemudian melakukan pengujian radiografi dan bending untuk mendapatkan hasil pengelasan yang lebih optimal.

## REFERENCES

- [1] American Society for Metal. (1990). *Properties and Selection : Iron Steels and High Performance Alloys*. ASM International, The Materials Information Company.
- [2] American Society for Metal. (1993). *Welding Brazing and Soldering Vol. 6*. ASM International.
- [3] American Society for Testing and Material. (2007). *Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials, Designation E23*.
- [4] American Society for Testing and Materials. (1997). *Standar Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials, Designation E 92 - 82*.
- [5] American Society for Testing and Materials. (1999). *Standard Practice for Microetching Metals and Alloys, Designation E 407*.
- [6] American Society for Testing and Materials. (2010). *Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Material, Designation E8/E8M - E09*.
- [7] American Welding Society. (1999). *Specification for Bare Aluminum and Aluminum-Alloy Welding Electrodes and Rods*.
- [8] Ardiansyah, R. (2015). *Pengaruh Heat Input terhadap Distorsi dan Sifat Mekanis pada Sambungan Las MIG Aluminium Paduan AA 5083*. Doctoral dissertation, Universitas Gadjah Mada.
- [9] Budiarsa, I. N. (2008). Pengaruh besar arus pengelasan dan kecepatan volume alir gas pada proses las GMAW terhadap ketangguhan aluminium 5083. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin CAKRAM Vol. 2*, 112-116.
- [10] Callister, J. W. (2010). *Material Science and Engineering*. USA: An Introduction, 8th ed.
- [11] Cary, H. W., & Hezler, S. (1994). *Modern Welding Technology, 6th ed*.
- [12] Dewanto, A. P., Amirudin, W., & Yudo, H. (2016). Analisa Kekuatan Mekanik Sambungan Las Metode MIG(Metal Gas Inert) dan Metode FSW(Friction Stir Welding) 800 RPM pada Alumunium Tipe 5083. *Jurnal Teknik Perkapalan, Vol. 4*, 613-621.
- [13] Hartono, B., Suharno, & Estriyanto, Y. (2016). Kaji Banding Kualitas Repair Welding dengan Metode Oxy-Acetyln, TIG, dan MIG pada Cast Wheel Aluminium. *Pusat Pengembangan Pendidikan Vokasi*, 175-180.
- [14] Huda, M. K., & Aji, G. S. (2018). Rancang Bangun Alat Uji Impact Metode Charpy. *Mechonversio, Vol.1, No. 1*, 7-11.
- [15] Khan, I. (2007). *Welding Science and Technology*. New Age International.
- [16] Kou, S. (2003). *Welding Metallurgy, Second Edition*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- [17] Mandal, N. R. (2005). *Aluminium Welding, 2nd ed*. India: Narosa Publishing House Pvt Ltd.
- [18] Mudjijana, Ilman, M. N., & Iswanto, P. T. (2017). Karakterisasi Pengaruh Kecepatan Las pada Pengelasan MIG AA 5083 H116 dengan Elektroda ER 5356. *POROS, Vol. 15 Nomor 1*, 26-34.

- [19] Muku, I. M. (2009). Kekuatan Sambungan Las Aluminium Seri 1100 dengan Variasi Kuat Arus Listrik Pada Proses Las Metal Inert Gas (MIG). *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cakram Vol. 3 No. 1*, 11-17.
- [20] Safrisal, M. D. (2016). *Analisa Pengaruh Pengelasan GMAW Terhadap Perubahan Distorsi pada Aluminium dengan Variasi Variabel Heat Input*. Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh November.
- [21] Sidi, P. (2011). Analisa pengaruh Proses Pengelasan MIG Terhadap Distorsi Sudut dan Kedalaman Penetrasi pada Sambungan Butt-Joint. *MeTriK Polban, Vol. 5*, 10-17.
- [22] Surdia, T., & Saito, S. (1999). *Pengetahuan Bahan Teknik*. PT. Pradyanya Paramita.
- [23] Susanto, R. W., & Prasetyo, P. J. (2017). Pengaruh Variasi Kecepatan Elektroda Las GMAW dan Perlakuan Panas Terhadap Sifat Mekanik Baja Karbon SS400 . *Jurnal Teknik Mesin, Vol. 6 No. 1*, 11-20.
- [24] Tarmizi, & Prayoga, B. (2016). Analisa Sifat Mekanik dan Struktur Mikro pada Proses Friction Stir Welding Aluminium 5052. *Jurnal Riset Industri Vol. 10*, 70-82.
- [25] Weman, K. (2012). *Welding Processes Handbook, 2nd ed*. Cambridge: Woodhead Publishing Limited.
- [26] Widodo, G. E. (2013). *Analisis Kekuatan Las Berbahan Aluminium Mampu Las Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis*. Skripsi S-1, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- [27] Winarto. (2011). *Teknologi Pengelasan*. Asosiasi Pengelasan Indonesia.
- [28] Wiryosumarto, H., & Okumura, T. (2000). *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- [29] Yoedhawan, A. J., & Sumarji. (2014). Analisis Kekerasan, Cacat Las, dan Struktur Mikro pada Sambungan T Paduan Aluminium 6061 T6511 Hasil Gas Metal Arc Welding (GMAW) dengan Variasi Kuat Arus. *Jurnal ROTOR, Vol. 7 No. 2*, 1-8.