

The Influence of Welding Speed to Distortion and Mechanical Properties in the Welded Joint GMAW Double Layer Tack Weld AA5052

Ma'fudz, M.R.¹, Mudjijana², Himarosa, R.A.³

^{1,3}Dept. Of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Muhammadiyah Yogyakarta of University

²Dept. Of Mechanical and Industrial Engineering, faculty of Engineering, Gadjah Mada of University

e-mail : muhrizkym28@gmail.com

This study uses the welding method of Gas Metal Arc Welding (GMAW), where welding is suitable for aluminum materials that have a thin thickness though, such as in the body of the ship and aircraft. Apart from being strong, aluminum is a metal that is resistant to corrosion so aluminum is widely used for the production of ship and aircraft bodies. This study uses GMAW 2 layer tack weld welding method with 3 grips on one side with AA 5052 series aluminum material thickness of 5 mm. The purpose of this study was to investigate the effect of the results using 3 grips and variations in weld speed against angular distortion, physical properties, and mechanical properties of AA 5052 materials using GMAW / MIG welding.

This study uses a variation of speed that is 6 mm / s, 7 mm / s, and 8 mm / s, and welding parameters using fixed voltage $E = 19$ V, and $I = 110$ A. After the welding process is carried out, the next step is to observe weld results include measurement of distortion, tensile testing, impact testing, microstructure testing, and hardness testing (vickers).

Based on the results of tests that have been conducted, the results of welded specimens with a speed of 6 mm / s have the largest angular distortion with a value of 9.69° . The greatest value of tensile strength was obtained at a variation of speed of 7 mm / s with a value of 156.47 MPa. The highest impact value is obtained at a speed variation of 7 mm / s with a value of 0.26 J / mm². The results of the highest hardness values were obtained in specimens with a speed variation of 8 mm / s in three regions, namely Heat Affected Zone (HAZ), Weld Metal (WM), and Base Metal (BM).

Keywords: GMAW 2 layer tack weld, AA 5052, angular distortion, physical and material properties

1. PENDAHULUAN

Seiring perkembangan zaman yang semakin modern ini tentu turut mempengaruhi proses manufaktur. Proses pengelasan adalah salah satu teknologi yang banyak digunakan dalam proses manufaktur karena prosesnya lebih efektif dalam segi waktu dan biaya operasional. Maka sebab itu teknik pengelasan semakin hari semakin dikembangkan untuk dapat memenuhi kebutuhan di zaman yang semakin maju.

Industri perkapalan merupakan industri yang menggunakan bahan aluminium untuk pembuatan bodi kapal. Salah satu jenis aluminium yang digunakan adalah aluminium 5052. Digunakannya aluminium 5052 karena memiliki beban yang ringan, kuat, dan tahan korosi terhadap cuaca yang salah satunya terjadi di laut. Oleh karena itu,

material tersebut sangat menjanjikan untuk digunakan sebagai bahan baku perkapalan (Abhijeet Bhowmik, dkk 2013).

Ada berbagai macam metode pengelasan, salah satunya adalah las *metal inert gas* (MIG) yang sering digunakan pada industri perkapalan. Pada proses pengelasan, salah satu hal penting yang perlu diperhatikan adalah parameter dari kecepatan suatu pengelasan. Parameter tersebut sangat berpengaruh besar terhadap nilai dari kualitas hasil las dari segi fisis maupun mekanisnya. Distorsi pengelasan disebabkan oleh masukan panas dan pencekam spesimen pada proses pengelasan berlangsung (Wirjosumarto, 2000). Dalam teknik pengelasan menggunakan MIG *multipass* dengan variasi kecepatan pengelasan dapat digunakan untuk memperbaiki lasan, mencegah pelat atau komponen

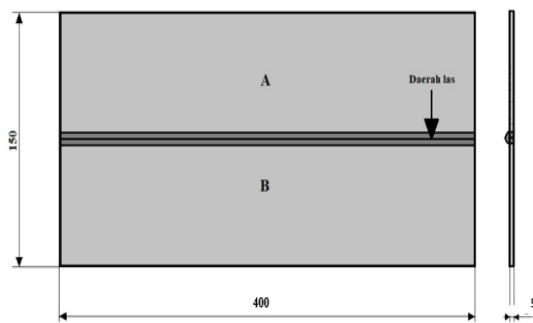
bergerak ke posisi tidak memungkinkan yang dapat menyebabkan kualitas las berkurang (Robin dkk, 2010).

Kecepatan pengelasan yang rendah akan menyebabkan pencairan yang banyak dan pembentukan manik yang datar, sedangkan kecepatan pengelasan yang terlalu tinggi akan menyebabkan manik yang cekung dan takik las. Apabila kecepatan pengelasan dinaikkan maka jumlah deposit persatuan menurun, tetapi pada kecepatan tertentu kenaikan kecepatan akan memperbesar penembusan (Pasalbessy dkk, 2015). Dengan penelitian ini, pengelasan MIG dengan variasi kecepatan mempengaruhi sifat mekanis dan sifat fisis dari hasil lasan.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Bahan las

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah plat aluminium 5052 dengan dimensi 400 mm x 150 mm x 5 mm yang dibagi melintang menjadu dua dengan ukuran 400 mm x 75 mm x 5 mm. Pemotongan plat dilakukan dengan mesin CNC *Milling* di UPT Logam Yogyakarta. Dimensi ukuran plat yang akan dilakukan pengelasan ditunjukkan pada gambar 1.

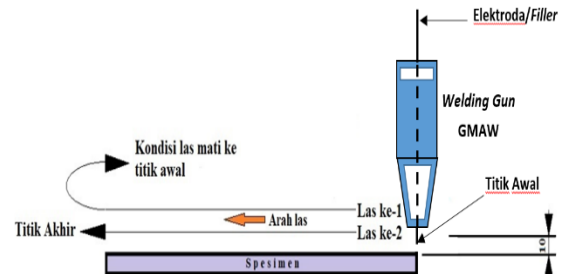


Gambar 1. Dimensi material las

2.2 Proses pengelasan MIG 2 layer

Proses pengelasan ini memiliki prinsip kerja yaitu dengan melakukan dua kali pengelasan (*2 layer*) dengan jarak dan pada alur las yang sama, di mana salah

satu sisi plat terdapat 3 (tiga) pengecam. Pengelasan ini menggunakan 1 (satu) buah mesin las seri *Tenjima MIG-200S*, seperangkat komputer beserta software *cnc* untuk mengatur pengelasan otomatis, dan alat bantu las otomatisnya.



Gambar 2. Skema pengelasan MIG 2 layer

Tabel 1. Parameter dan variasi las MIG 2 layer

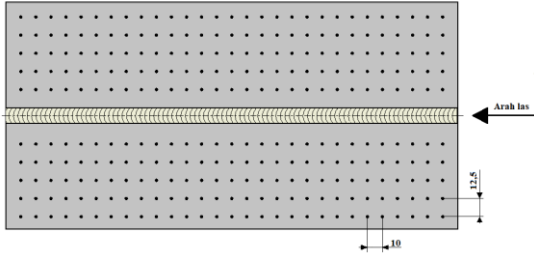
Parameter	MIG/GMAW
Variasi kecepatan las (v)	6 mm/s, 7 mm/s, 8 mm/s.
Jarak elektroda dengan spesimen	10 mm
Sudut pengelasan (θ)	90°
Asumsi tegangan las (V)	22 V
Arus las (I)	130 A
Filler Diameter	0,8 mm
Filler Rate	27-29 mm/s
Argon flow	15 liter/menit
Jeda pengelasan 1 ke 2	15 detik

2.3 Pengukuran dan Pengujian

2.3.1 Pengukuran Distorsi

pengukuran distorsi bertujuan untuk mengetahui nilai deformasi spesimen setelah menerima perlakuan panas saat proses pengelasan MIG 2 layer. Proses pengukuran menggunakan alat bantu meja mesin *milling* dengan cara spesimen lasan diletakkan pada meja lalu dicekam dengan kuat supaya tidak bergeser saat pengukuran. Pengukuran distorsi ini menggunakan alat dial indikator dengan mengukur perbedaan

ketinggian spesimen pada setiap titik yang sudah ditentukan pada permukaan spesimen.



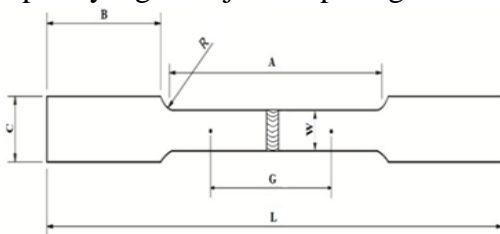
Gambar 3. Ukuran titik yang dihitung



Gambar 4. Proses pengukuran distorsi

2.3.2 Pengujian Tarik

Pengujian tarik bertujuan untuk mengetahui nilai kekuatan luluh (*yield strenght*) dan nilai kekuatan tarik maksimal (*ultimate tensile strenght*) pada spesimen hasil lasan MIG 2 layer. Pengujian ini sesuai standar ASTM E8-09 seperti yang ditunjukkan pada gambar 5.



Berikut ketentuan ukuran spesimen uji tarik, yaitu:

<i>Lenght (L)</i>	= 150 mm
<i>Lenght of reduced section (A)</i>	= 80 mm
<i>Gage lenght (G)</i>	= 50 mm
<i>Lenght of grid section (B)</i>	= 25 mm
<i>Width of grid section (C)</i>	= 3 mm
<i>Width (W)</i>	= 25 mm
<i>Thicness (T)</i>	= 3 mm

Gambar 5. Ukuran spesimen uji tarik (ASTM E8-09)

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 :

σ = Tegangan (kg/mm^2)

P = Beban (kg)

A_0 = Luas penampang mula-mula (mm^2)

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

Dimana :

ε = Regangan (%)

ΔL = Selisih panjang ukuran sebelum dan sesudah patah (mm)

L_0 = Panjang ukur mula-mula (mm)

2.3.3 Pengujian Impak

Pengujian impak bertujuan untuk mengetahui nilai kekuatan, kekerasan, dan nilai keuletan material yang diberi beban dengan waktu yang cepat (*rapid loading*) dari spesimen uji. Pengujian impak menggunakan mesin uji impak dengan merek *Controlab* yang dilakukan di Laboraturium D3 Vokasi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.

Spesimen uji impak ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 6. Spesimen uji impak

2.3.4 Uji Kekerasan

Hasil pengukuran tersebut bertujuan untuk mengetahui nilai kekerasan terhadap spesimen uji. Jenis pengujian kekerasan *vickers* adalah uji kekerasan terhadap spesimen uji dengan bahan dasar metal. Pengujian kekerasan menggunakan mesin kekerasan merek *Beuhler Hardness Tester*, ditunjukkan gambar 7.



Gambar 7. (a) Mesin uji kekerasan. (b) Spesifikasi mesin uji

Adapun untuk mengetahui nilai kekerasan VHN dapat dilihat pada persamaan 3 sebagai berikut :

$$D = (d_1 + d_2) / 2 \quad (3)$$

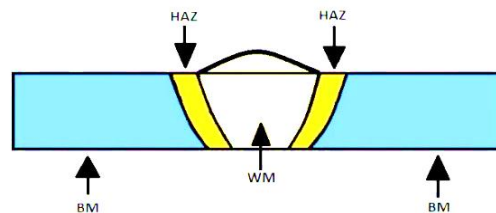
$$VHN = \frac{2P \sin(\frac{\theta}{2})}{d^2} = \frac{1.854 P}{d^2}$$

- Dimana :
- VHN = *Vickers Hardness Numbers* (kg/mm²)
 - P = beban yang diterapkan (kgf)
 - d1 = diameter pinjakan 1
 - d2 = diameter pinjakan 2
 - d = panjang diagonal rata-rata (mm)
 - θ = sudut permukaan intan 136°

2.3.5 Pengujian Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro bertujuan untuk mengetahui sifat material sambungan,

perubahan fasa spesimen uji yang dipengaruhi oleh proses pengelasan, dan perubahan bentuk struktur mikronya. Pengujian struktur mikro menggunakan alat mikroskop optik merek *Olympus BX53M* yang dilakukan di Laboraturium Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Proses pengamatan ini untuk mengetahui serta mengambil bagian-bagian pada spesimen, seperti daerah *Weld Metal* (WM), *Base Metal* (BM), serta daerah *Heat Affected Zone* (HAZ).



Gambar 8. Daerah las MIG 2 layer

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Pengukuran Distorsi

Proses pengukuran distorsi plat setelah proses pengelasan bertujuan untuk mengetahui hasil perbandingan setiap nilai distorsi sudut spesimen yang berbeda karena memiliki beberapa variasi pengelasan yang berbeda-beda. Berikut hasil pengukuran distorsi sudut pada tabel 2.

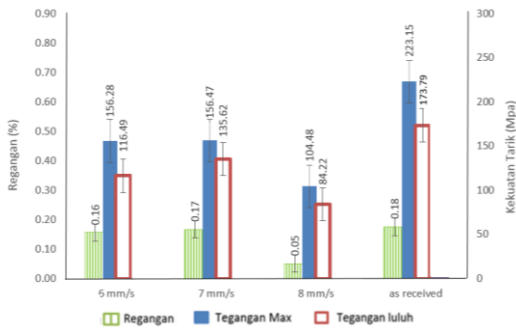
Tabel 2. *Heat input* dan nilai distorsi sudut

Kecepatan	Heat Input (J/mm)	Distorsi Plat yang dicekam	Distorsi Plat yang tidak dicekam
6 mm/s	476.67	8.62°	9.69°
7 mm/s	408.57	6.57°	6.99°
8 mm/s	357.5	2.93°	3.68°

3.2 Hasil Uji Tarik

Proses pengujian tarik ini menghasilkan data berupa grafik yang menjelaskan nilai kekuatan luluh dan

kekuatan tarik maksimal dari spesimen uji, ditunjukkan pada gambar 9.

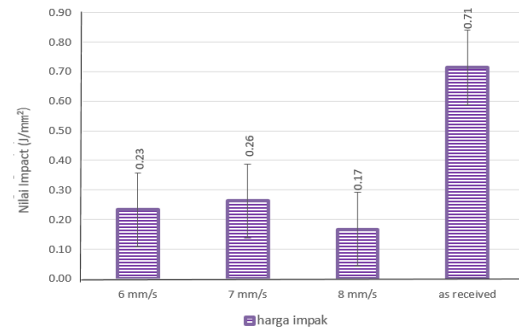


Gambar 9. Grafik hasil uji tarik

Nilai tarik maksimum didapat pada kecepatan las 7 mm/s dengan nilai 156,47 MPa dengan nilai tegangan luluh sebesar 135,62 MPa. Spesimen variasi kecepatan 6 mm/s mendapatkan nilai kekuatan tarik yang tidak jauh beda dengan kecepatan 7 mm/s dengan nilai 156,28 MPa dan nilai tegangan luluh 116,49 MPa, dan spesimen 8 mm/s mendapatkan nilai terendah dibandingkan kecepatan yang lain dengan 104,48 MPa untuk kekuatan tariknya dan 84,22 MPa untuk nilai tegangan luluhnya. Nilai kekuatan tarik dan tegangan luluh pada *raw material* didapat hasil 223,15 MPa dan 173,79 MPa. Hasil uji tarik menunjukkan nilai kekuatan tarik dan tegangan luluh pada tiap-tiap variasi kecepatan pengelasan yang lebih lemah dari *raw material*.

3.3 Hasil Uji Impak

Nilai impak yang didapat pada tiap-tiap variasi kecepatan pengelasan dapat dilihat pada gambar 10.

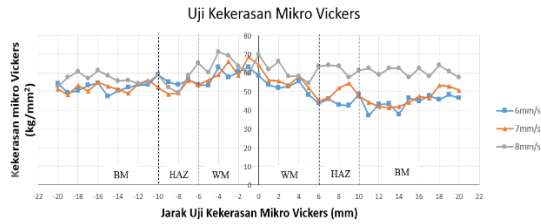


Gambar 10. Grafik hasil uji impak

Nilai impak maksimum didapat pada variasi kecepatan 7 mm/s dengan nilai 0.26 J/mm² dan nilai minimum impak didapat pada variasi kecepatan 8 mm/s dengan nilai 0.17 J/mm². Terdapat perbedaan yang signifikan hasil antara 7 mm/s dengan 8 mm/s, hal ini dikarenakan kecepatan 7 mm/s merupakan kecepatan yang ideal untuk mendapatkan nilai impak maksimum jika dibandingkan dengan kecepatan 8 mm/s yang kecepatan pengelasannya cenderung lebih cepat sehingga penetrasi hasil lasan tidak sempurna menyatu dengan *base metal*. Untuk nilai kecepatan 6 mm/s dengan nilai 0.23 J/mm² dan nilai impak pada spesimen *raw material* didapat nilai 0.71 J/mm². Hasil uji impak ini menunjukkan nilai kekuatan pada tiap-tiap variasi kecepatan pengelasan yang lebih lemah dari *raw material*.

3.4 Hasil Uji Kekerasan

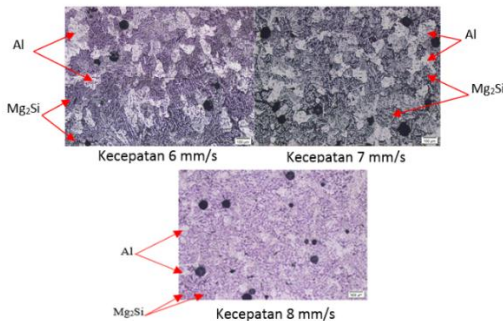
Nilai kekerasan dapat diamati dalam bentuk grafik hubungan jarak setiap pijakkan indenter terhadap daerah yang diuji dengan besarnya *Vickers Hardness Number* (VHN). Nilai kekerasan yang didapat pada tiap-tiap variasi kecepatan dapat dilihat pada grafik yang ditunjukkan pada gambar 11.



Gambar 11. Grafik uji kekerasan

Nilai kekerasan yang tidak berbeda jauh antara spesimen dengan kecepatan 6 mm/s, 7 mm/s, dan 8 mm/s. Nilai kekerasan dari ketiga spesimen pada daerah *Heat Affected Zone* (HAZ) dan *Base Metal* (BM) tidak jauh berbeda. Hal ini dikarenakan struktur butir las pada spesimen cenderung hampir sama terhadap pengaruh panas saat proses pengelasan. Nilai kekerasan dari ketiga spesimen pada daerah *Weld Metal* (WM) tidak jauh berbeda juga. Dari ketiga daerah tersebut, daerah *weld metal* memiliki nilai kekerasan cenderung lebih keras dibanding daerah HAZ dan BM karena memiliki butir las lebih kecil-kecil yang dipengaruhi distorsi sudut yang besar sehingga mengakibatkan pembentukan panas cenderung lebih besar pada daerah HAZ dan BM.

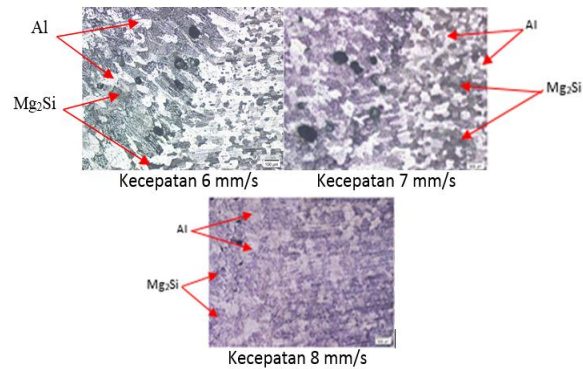
4.5 Hasil Uji Struktur Mikro



Gambar 12. Struktur mikro daerah weld metal

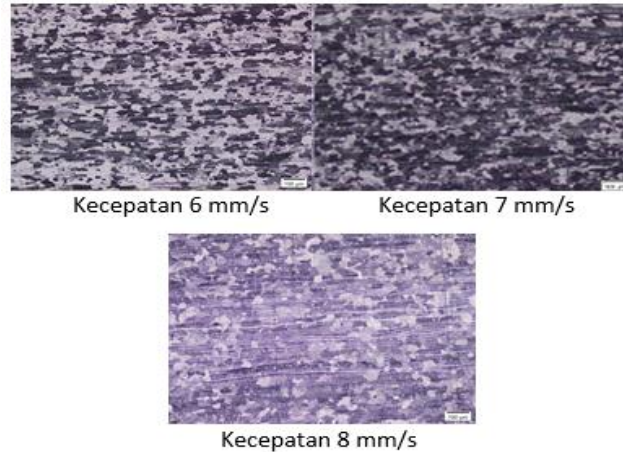
Daerah weld metal memiliki batas butir yang banyak akan mengakibatkan gerakan dislokasi semakin sulit yang nantinya juga akan meningkatkan sifat mekanik dari logam. Batas butir paling halus terdapat pada kecepatan 8 mm/s

dibandingkan dengan kecepatan 6 dan 7 mm/s yang memiliki batas butir lebih besar. Oleh karena nilai kekerasan pada kecepatan 8 mm/s memiliki nilai yang besar karena memiliki hasil butiran las yang halus atau kecil-kecil. Pemasukan panas saat proses pengelasan terhadap logam akan mengakibatkan terjadinya pencairan, rekristalisasi, pelarutan dan pengendapan, tergantung terhadap tinggi atau rendahnya suhu yang digunakan pada daerah las (Wiryosumarto, 2000).



Gambar 13. Struktur mikro daerah HAZ

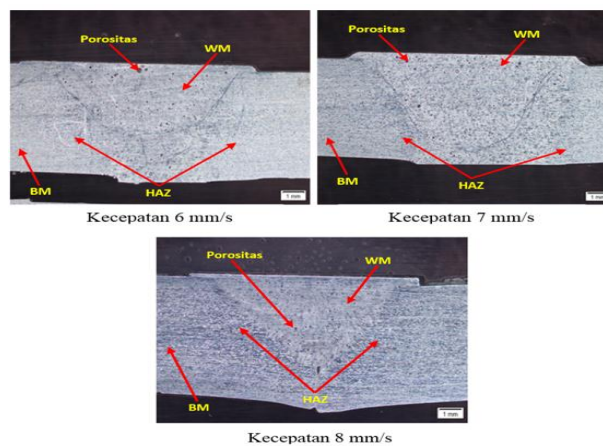
Daerah pada HAZ memiliki hasil ukuran butir las yang lebih besar dengan daerah *base metal*. Terjadinya perubahan ukuran butir las yang semakin besar dan kasar karena faktor pemasukan panas yang lebih tinggi. Daerah HAZ dapat disebut juga daerah transisi pada daerah *weld metal* dan *base metal*. Pencampuran *weld metal* dengan *base metal* mempengaruhi nilai baik atau buruk hasil kekuatan tarik dan impak. Pada kecepatan pengelasan 6 dan 7 mm/s terjadi fusi atau pencampuran weld metal dengan base metal yang baik (merata) dibandingkan kecepatan 8 mm/s, hal tersebut dikarenakan kecepatan 8 mm/s cenderung memiliki kecepatan yang lebih cepat sehingga proses pencampurannya kurang maksimal.



Gambar 13. Struktur mikro daerah base metal

Daerah base metal menunjukkan hasil butiran-butiran dan batas butir yang memiliki kemiripan pada spesimen tiap-tiap variasi kecepatan pengelasan. Hasil struktur

yang terjadi pada daerah ini dikarenakan daerah *base metal* tidak terpengaruh panas secara langsung pada proses pengelasan dilakukan.



Gambar 14. Struktur makro tiap-tiap variasi kecepatan

Hasil pengelasan tiap-tiap variasi kecepatan terdapat porositas pada bagian *weld metal*. Porositas yaitu suatu cacat las yang diakibatkan oleh adanya hidrogen yang terlarut pada proses pengelasan dan terperangkap didalam *weld metal* (Singh, 2016). Hasil pengelasan kecepatan 8 mm/s terjadi cacat *incomplete penetration* yaitu hasil penyambungan pengelasan yang tidak sempurna antara logam las dengan *base*

metal. Cacat *incomplete penetration* yang terjadi pada spesimen kecepatan 8 mm/s dikarenakan laju pengelasannya terlalu cepat sehingga pecampuran logam las dengan base metal tidak sempurna. Cacat *incomplete penetration* mempengaruhi hasil kekuatan tarik dan impak, oleh karena itu hasil kecepatan 8 mm/s mendapat nilai uji tarik dan impak yang paling rendah walaupun memiliki nilai kekerasan yang tinggi

dibandingkan kecepatan 6 mm/s dan 7 mm/s. Hal ini dikarenakan pengelasan kecepatan 8 mm/s cenderung lebih cepat

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian serta pengujian pengelasan MIG 2 *layer tack weld* menggunakan 3 pencekam pada satu sisi dengan variasi kecepatan las 6 mm/s, 7 mm/s, dan 8 mm/s, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Nilai distorsi yang lebih tinggi dipengaruhi oleh kecepatan las yang cenderung lebih rendah karena spesimen lebih lama terkena pemasukan panas saat proses pengelasan.
2. Kecepatan las yang rendah lebih cocok untuk mencapai kekuatan tarik dan dampak maksimum. Dan semakin rendah laju kecepatan pengelasan, semakin lama spesimen terkena pemasukan panas maka spesimen lasan akan lebih lunak dan nilai kekerasannya semakin kecil. Kecepatan pengelasan yang lebih cepat menyebabkan penetrasi weld metal dengan base metal tidak menyatu sempurna atau terjadi cacat *incomplete penetration*

5. Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan banyak terimakasih terutama kepada Allah SWT, Bapak Ir. H. Mudjijana, M.Eng. dan Bapak Rela Adi Himaros S.T, M.Eng selaku dosen pembimbing, serta Rohmad, Eki, Afif, Alfian, Astitara, Farhan selaku rekan kerja penelitian

dibanding kecepatan 6 mm/s dan 7 mm/s yang hasil pengelasannya sempurna.

3. Hasil struktur mikro pada *weld metal* pada kecepatan 8mm/s memiliki butiran-butiran pageus yang membuat spesimen lebih keras. Daerah HAZ pada kecepatan 6 mm/s dan 7mm/s terjadi *fusion* atau pencampuran cairan las dengan base metal yang baik dibanding kecepatan 8mm/s. Daerah *base metal* pada kecepatan 6, 7, 8 mm/s memiliki butiran las yang merata karena daerah base metal tidak terpengaruh langsung oleh heat input.
4. Kecepatan 7 mm/s adalah kecepatan yang ideal untuk mendapatkan nilai tarik dan dampak yang baik karena hasil pencampuran *weld metal* yang paling sempurna. Kecepatan 8 mm/s mendapatkan nilai distorsi dan nilai kekerasan yang paling baik tapi terdapat cacat *incomplete penetration*.

Daftar Pustaka

- Abhijeet Bhowmik, Dilip Mishra. (2016). A Comprehensive Study of an Aluminum Alloy AL-5052. Page 2349-1094, Vol_3.
- Ambriz, R. M. (2011). *Welding of Aluminium Alloys. Politécnico Nacional CIITEC-IPN, Meksiko.*
- American Society for Metals. (1986). *After Binary Alloy Phase Diagrams, Vol. 1, ASM International, The Materials Information Company.*
- American Society for Testing and Materials. (2003). *Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials.* Designation E92-82.
- American Society for Testing and Materials. (2009). *Standard Test Method for Tension Testing of Metallic Materials.*, Designation E8/E8M-09.
- American Society for Testing and Materials. (2014). *Standard Test Method for Guided Bend Test for Ductility of Welds.*, Designation E190-14.
- American Society for Testing and Materials. (2018). *Notched Bar Impact Test of Metallic Materials.*, Designation E23.
- American Society of Mechanical Engineers. (2001). *Materials Part C – Specifications for Welding Rods, Electrodes, and Filler Metals.* ASME, New York.
- Ardiansyah, R. (2015). *Pengaruh Heat Input terhadap Distorsi dan Sifat Mekanis pada Sambungan Las MIG Aluminium Paduan AA 5083. Skripsi S1, Universitas Gadjah Mada.*
- Bhowmik, A. Srivas, S.P., and Khandelwal, A.K.,. (2016). *A Review of The Properties of Aluminum Alloy AL 5052. Chouksey Engineering College, Bilaspur.*
- Callister, Jr.W.D.,. (2010). *Material Science and Engineering: An Introduction, 8th ed. John Wiley & Sons, USA.*
- Cary, H. d. (1994). *Modern Welding Technology, 6th ed, Prentice.*
- Kou, S. (2003). *Welding Metallurgy, 2nd ed, John willey & Sons, Inc.*
- Mandal, N.R.,. (2005). *Aluminium Welding, 2nd ed. Narosa Publishing House Pvt Ltd, India.*
- Messler, Jr.R.W.,. (1999). *Principles of Welding – Process, Physics, Chemistry, and Metallurgy, 1st ed. John Wiley & Sons, USA.*
- Mudjijana, Ilman, M.N., dan Iswanto, P.T.,. (2017). *. Karakterisasi Pengaruh Kecepatan Las pada Pengelasan MIG AA 5083 H116 dengan Elektroda ER 5356. POROS, Volume 15 Nomor 1, Mei 2017, pp. 26-34.*
- Nur, R., Sultan, A.Z., Suyuti M.A.,. (2017). *Mechanical Properties On Friction Stir Welding Of Alumunium Alloy 5052. Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar.*
- Pasalbessy, V., Jokosisworo, S., & Samuel. (2015). *Pengaruh Besar Arus Listrik dan Kecepatan Las Terhadap Kekuatan Tarik Aluminium 5083 Pengelasan TIG. Jurnal Teknik Perkapalan, Vol. 3, No.4, Hal 336 - 345.*
- Robin, V., Devaux, J., Gilles, P., & Bergheau, J. (2010). *Multipass Welding Modelling Methodology for Residual Stress Computation and Evaluation of the Integrity of Bimetallic Welds. Mathematical*

Modelling of Weld Phenomena 8,
Hal. 973-996.

- Singh, R.,. (2016). *Applied Welding Engineering – Pocesesses, Codes, Standards, 2nd ed. Elsevier Inc, Oxford.*
- Surdia, T. dan Saito, S. (1992). *Pengetahuan Bahan Teknik, P.T Pradnya Paramitha, Jakarta.*
- Weman, K. (2012). *Welding Processes Handbook, 2nd ed. Woodhead Publishing Limited, Cambridge.*
- Wirjosumarto, H. O. (2000). *Teknologi Pengelasan Logam. Jakarta: PT. Pradnya Paramida.*
- Zhang, Z., Yang, X., Zhang , J., Zhou, G., Xu, X., Zou, B. (2011). Effect of welding parameters on microstructure and mechanical properties of friction stir spot welded 5052 aluminum alloy. *Elsevier Materials and Design 32,*, Hal. 4461 - 4470.