

Program Studi Teknik Mesin

Lembar Persetujuan Naskah Publikasi dan Abstrak Tugas Akhir (TA)

Judul TA: Pengaruh Kecepatan Las terhadap Distorsi dan Sifat Mekanis pada Sambungan Las Tandem TIG-MIG Bahan Aluminium AA5083H116

Judul Naskah Publikasi: The Influence of Welding Speed to Distortion and Mechanical Properties on Weld Joint Tandem TIG-MIG AA5083H116

Nama Mahasiswa: Chandra Ariesta Rapon

NIM: 20140130271

Pembimbing 1: Ir. Mudjijana, M.Eng.

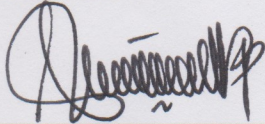
Pembimbing 2: Muhammad Budi Nur Rahman, S.T., M.Eng.

Hal yang dimintakan persetujuan *:

- | | | | |
|---|--|--------------------------------|--------------------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> Abstrak berbahasa Indonesia | <input checked="" type="checkbox"/> Naskah Publikasi | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <input checked="" type="checkbox"/> Abstrak berbahasa Inggris | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

*beri tanda √ di kotak yang sesuai

Mahasiswa



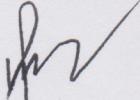
Tanggal 18 Mei 2018

Chandra Ariesta Rapon

Persetujuan Dosen Pembimbing dan Program Studi

Disetujui

Dosen Pembimbing



Ir. Mudjijana, M.Eng

Tanggal 19 Mei 2018

Ketua/Sekretaris Program Studi



Betri Pariputna Kaniel, S.T., M.Eng.Sc., Ph.D.

Tanggal 21/5/18

Formulir persetujuan ini mohon diletakkan pada lampiran terakhir pada naskah TA.

The Influence of Welding Speed to Distortion and Mechanical Properties on Weld Joint Tandem TIG-MIG AA5083H116

Rapon, C.A.^{1,a}, Mudjijana^{2,b}, Rahman, M.B.N.^{1,c}

¹Dept. of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

²Dept. of Mechanical and Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Gadjah Mada
^arhechand@gmail.com, ^bmudjijana@ugm.ac.id, ^cnurrahman_umy@yahoo.co.id

Abstract

In this decade aluminium alloy be a choice as raw materials in aircraft and middle ship manufacturing industry. Aluminium alloy have the advantage that high resistance to corrosion and lighter density than steel. Aluminium alloy widely used in the manufacturing industry is AA5083H116. In manufacturing industry, the technology that commonly used is welding technologies.

Welding technologies used in this research was Tandem Tungsten Inert Gas-Metal Inert Gas Welding (Tandem TIG-MIG). Variables used is welding speed variation on 12 mm/s, 16 mm/s, and 20 mm/s. The properties being evaluated on weld joint are distortion measurements, tensile test, bending test, and macro-micro structure observation.

Based on the test resulted the value of distortion decreased and hardness increased along as the increase of welding speed. Variations on the welding speed of 16 mm/s have the best value of tensile test (278,45 Mpa), bending test (502,75 MPa), and perfect form of weld bead. From the result test in this research can be concluded that increasing of welding speed produced smaller distortion and changes in physical properties on the weld joints. To get a best weld joints on AA5083H116 with 3 mm thickness should be use 16 mm/s of welding speed in Tandem TIG-MIG welding.

Keywords: Tandem TIG-MIG welding, welding speed, AA5083H116, distortion, physical and mechanical properties

1. PENDAHULUAN

Dekade ini aluminium paduan menjadi pilihan sebagai bahan baku dalam interior pesawat luar angkasa, pesawat terbang, kapal laut, kereta api, dan industri otomotif, serta struktur sekunder bangunan. Aluminium paduan mempunyai keunggulan yaitu memiliki daya tahan yang baik terhadap korosi dan berat jenis yang lebih ringan dibanding baja (Jesus, dkk, 2016). Aluminium paduan yang paling banyak digunakan dalam industri manufaktur kapal adalah AA5083 karena memiliki ketahanan korosi paling baik dalam lingkungan air laut diantara aluminium paduan yang lainnya (Surdia dan Saito, 1992).

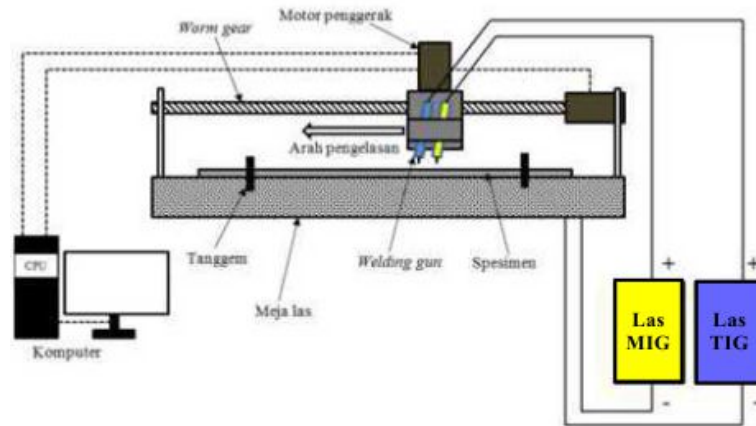
Dalam industri manufaktur kapal, teknologi manufaktur yang banyak digunakan yaitu teknologi pengelasan. Salah satu jenis teknologi pengelasan yang banyak digunakan adalah las *Metal Inert Gas* (MIG). Las MIG mempunyai keunggulan diantaranya yaitu memiliki fleksibilitas yang sangat baik dan produktivitas yang tinggi. Namun terdapat kelemahan dari hasil pengelasan MIG yaitu adanya porositas, *lack of wetting*,

retak panas, penurunan kekuatan, distorsi, dan tegangan sisa tarik (Wirjosumatro dan Okumura, 2000). Kelemahan-kelemahan ini yang menyebabkan terjadinya penurunan sifat mekanik pada hasil pengelasan (Liu dkk, 2012). Oleh karena itu perlu adanya pengembangan metode pengelasan MIG untuk mengurangi cacat lasan yang terjadi. Salah satu diantaranya yaitu metode pengelasan MIG bersama dengan *Tungsten Inert Gas* (TIG) atau biasa disebut dengan Las Tandem TIG-MIG. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisa sifat fisis, sifat mekanis, dan distorsi dari dua buah aluminium paduan AA 5083 H116 yang disambung dengan pengelasan Tandem TIG-MIG terhadap variasi kecepatan las.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Parameter Pengelasan

Untuk mendapatkan data hasil percobaan yang konsisten dalam penelitian ini digunakan semi-automatic Tandem TIG-MIG dengan elektroda ER 5356.



Gambar 2.1. Skema pengelasan Tandem TIG-MIG

Dua pelat AA5083 dengan dimensi 300 mm x 75 mm x 3 mm dilas *close square butt joint* sepanjang 300 mm dimana arah pengelasan tegak lurus terhadap arah pengerolan. Pengelasan menggunakan mesin las AOTAI ATIG315PAC, Tenjima MIG 200S dan gas pelindung Argon. Detail parameter pengelasan dapat dilihat pada Tabel 1. dan Gambar 2.1.

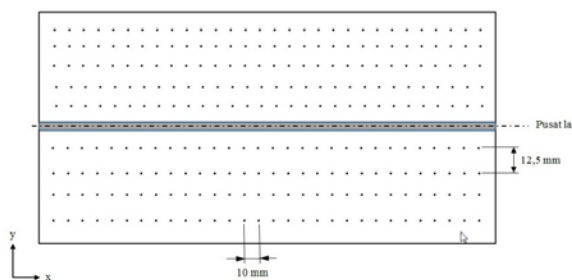
2.2 Distortion Pattern

Pengukuran distorsi dilakukan untuk mengetahui besarnya distorsi yang terjadi dan bentuk akhir dari hasil pengelasan. Hasil pengukuran ini berupa log ketinggian di tiap titik pada permukaan plat hasil lasan yang kemudian disajikan dalam grafik *surface 3D plot*. Cara pengukuran adalah dengan mengukur perbedaan ketinggian pada tiap-tiap titik permukaan spesimen yang telah dilas. Permukaan spesimen diasumsikan sebagai sumbu x-y dan ketinggian permukaan yang diukur oleh *dial indikator* sebagai sumbu z. Kemudian data distorsi sumbu x-y-z dikonversi menjadi grafik *3D surface plot*. Spesimen diletakkan pada permukaan yang datar dan statis yaitu meja *milling* dan *magnetic base dial indikator* ditempelkan sesuai kebutuhan.

Pemberian tanda pada permukaan hasil las bertujuan untuk mendapatkan titik distorsi yang lebih presisi. Pemberian tanda dilakukan dengan menandai jarak antar titik sebesar 10 mm pada sisi panjang (sumbu y) dan sebesar 12,5 mm pada sisi lebar (sumbu x). Skema pemberian tanda ditunjukkan pada Gambar 2.2.

Tabel 1 Parameter pengelasan

Parameter	TIG	MIG
Jarak antar elektroda (d), mm	15	
Panjang busur las (h), mm	10	10
Kecepatan las (v), mm/s	12, 16, 20	
Sudut pengelasan (Θ)	80°	80°
Tegangan las (V), V	19	18
Arus las (I), A	85	120
Filler rate, mm/s	-	27
Filler diameter, mm	-	0,8
Argon flow, lpm	15	15

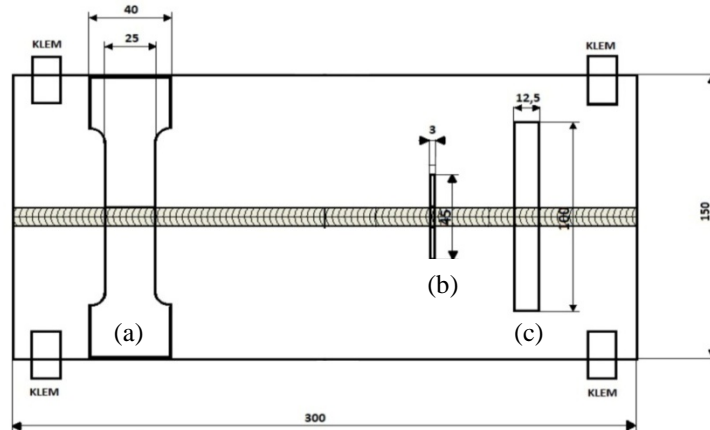


(a)



(b)

Gambar 2.2. Proses pengukuran distorsi ; (a) Pemberian tanda hasil las, (b) Proses pengukuran distorsi pada mesin fraizz.



Gambar 2.3. Skema pembuatan spesimen pengujian; (a) Uji tarik, (b) Uji Mikrostruktur dan Kekerasan, (c) Uji *bending*

2.3 Pengamatan Struktur Makro & Mikro

Pengamatan struktur mikro dilakukan untuk mengetahui perbedaan antara struktur mikro yang terbentuk berdasarkan variasi kecepatan las yang digunakan. Daerah pengelasan yang perlu diamati struktur mikronya adalah *Weld Metal* (WM), *Heat Affected Zone* (HAZ), dan *Base Metal* (BM).

Selain struktur mikro, pengamatan struktur makro pun perlu dilakukan untuk mengetahui cacat las pada bagian sambungan las Tandem TIG-MIG. Melalui foto struktur makro ini dapat diketahui bentuk cacat las yang terjadi pada sambungan las ini.

2.4 Pengujian Kekerasan Mikro *Vickers*

Pengujian kekerasan yang digunakan adalah uji kekerasan mikro *Vickers*. Data hasil pengujian berupa ukuran diameter pijakan yang kemudian dimasukkan ke persamaan 1 dengan parameter pengujian yang digunakan sehingga akan diperoleh nilai *Vickers Hardness Number* (VHN).

$$d = (d_1 + d_2) / 2 \quad (1)$$

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

VHN = *Vickers Hardness Number* (kg/mm²)

P = beban yang diterapkan (kg)

d1 = diameter pijakan 1 (mm)

d2 = diameter pijakan 2 (mm)

d = panjang diagonal rata-rata (mm)

θ = sudut antara permukaan intan (136°)



Gambar 2.4. Spesimen uji kekerasan dan uji struktur mikro

2.5 Pengujian Tarik

Uji tarik merupakan proses pengujian yang dilakukan untuk mengetahui kekuatan suatu benda terhadap beban tarik. Dari hasil pengujian tarik akan didapatkan kekuatan luluh dan kekuatan tarik dari benda tersebut. Dalam pengujian tarik terdapat tiga variabel penting yaitu beban tarik, tegangan dan regangan. Untuk mengetahui tegangan dan regangan pada benda uji digunakan persamaan sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \quad (3)$$

σ = Tegangan (kg/mm²)

P = Beban (kg)

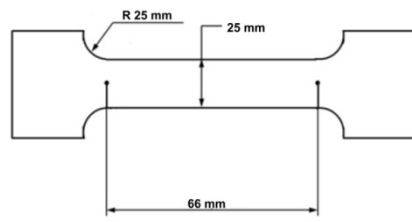
A₀ = Luas penampang mula-mula (mm²)

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% \quad (4)$$

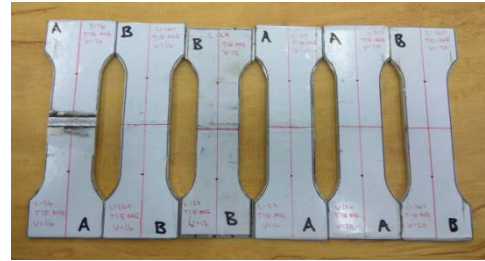
ε = Regangan (%)

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

L₀ = Panjang ukur mula-mula (mm)



(a)

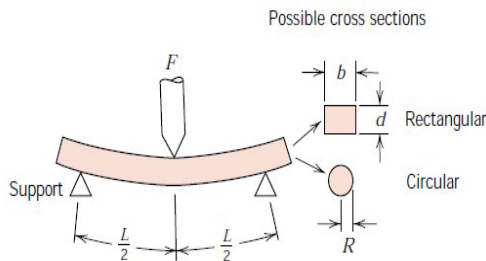


(b)

Gambar 2.5. Spesimen uji tarik (a) Standar ASTM E8, (b) Spesimen uji tarik

2.6 Pengujian Bending

Pengujian bending dilakukan untuk mengetahui kekuatan las dalam menahan beban lengkung. Pengujian *bending* yang dilakukan menggunakan metode *three point bending* seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.6.



Gambar 2.6. Skema uji *three point bending* (Callister, 2013).

Pengujian *bending* yang dilakukan adalah *transversal bending* pada *Face Bend* (permukaan las) dan *Root Bend* (akar las). Perhitungan kekuatan *bending* untuk hasil uji *bending* menggunakan persamaan 5 dengan standar ASTM E190 berikut ini:

$$\sigma_b = \frac{3 PL}{2 bd^2} \quad (5)$$

- σ_b = Tegangan *bending* (MPa)
- P = Beban (N)
- L = Panjang tumpuan (mm)
- b = Lebar (mm)
- d = Tebal (mm)

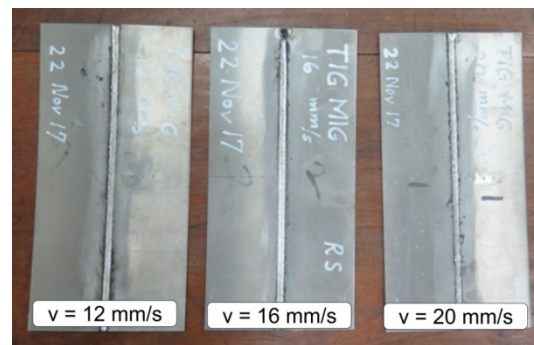


Gambar 2.7. Spesimen uji *bending* (ASTM E190)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengelasan

Berdasarkan pengamatan visual, hasil pengelasan memiliki bentuk sambungan las yang baik (Gambar 3.1). Namun untuk mengetahui sejauh mana pengaruh variasi kecepatan las terhadap distorsi, sifat mekanis, dan sifat fisis sambungan las diperlukan pengujian-pengujian dan pengukuran yang telah dijelaskan dalam metodologi penelitian.

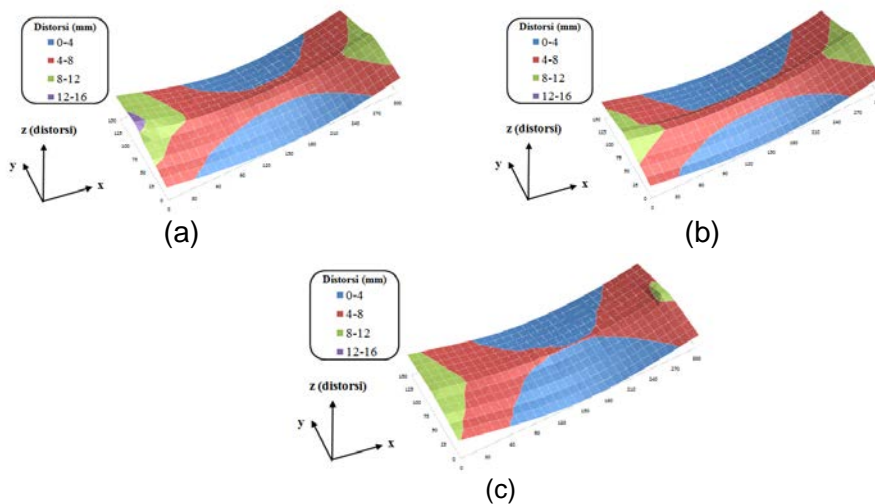


Gambar 3.1. Hasil las Tandem TIG-MIG AA5083H116

3.2 Hasil Pengukuran Distorsi

Pengukuran distorsi dilakukan untuk mengetahui sejauh mana deformasi yang terjadi pada logam las dan bentuk akhir logam las. Deformasi yang terjadi lalu dibandingkan pada tiap variasi pengelasan. Hasil dari pengukuran distorsi ditunjukkan oleh Gambar 3.2.

Berdasarkan Gambar 3.2. distorsi paling kecil terjadi pada spesimen dengan $v = 20$ mm/s, lalu spesimen dengan $v = 16$ mm/s, dan yang paling besar terjadi pada spesimen dengan $v = 12$ mm/s. Analisa ini didapatkan dari pengamatan luas area berwarna biru dari grafik yang ditampilkan. Area berwarna biru dalam grafik merupakan deformasi sebesar 0-4 mm. Semakin luas area berwarna biru maka semakin kecil deformasi yang terjadi.

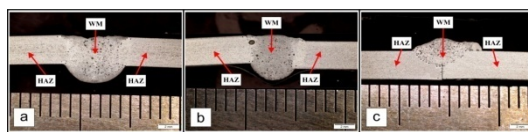


Gambar 3.2. Distorsi pada spesimen hasil las; (a) $v = 12$ mm/s, (b) $v = 16$ mm/s, dan (c) $v = 20$ mm/s

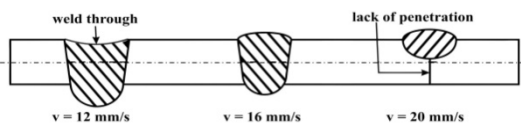
Distorsi pengelasan disebabkan karena masukan panas dan penangeman spesimen pada saat proses pengelasan. Semakin besar masukan panas maka semakin besar pula distorsinya (Wiriyosumarto, 2000).

3.3 Hasil Pengamatan Makro & Mikro

Pengamatan struktur makro dan mikro dilakukan untuk mengetahui perubahan sifat fisis sambungan las Tandem TIG MIG. Sebelum mengamati struktur mikro pada sambungan las diperlukan pengamatan makro pada sambungan las tersebut untuk mengetahui cacat lasan yang terjadi. Cacat las yang terjadi pada hasil pengelasan Tandem TIG MIG bahan AA5083H1116 berdasarkan foto makro antara lain *porosity*, *weld through* dan *lack of penetration* (Gambar 3.4).



Gambar 3.3. Hasil Foto Makro Sambungan Las Tandem TIG-MIG



Gambar 3.4. Ilustrasi *Weld Bead* hasil las Tandem TIG-MIG

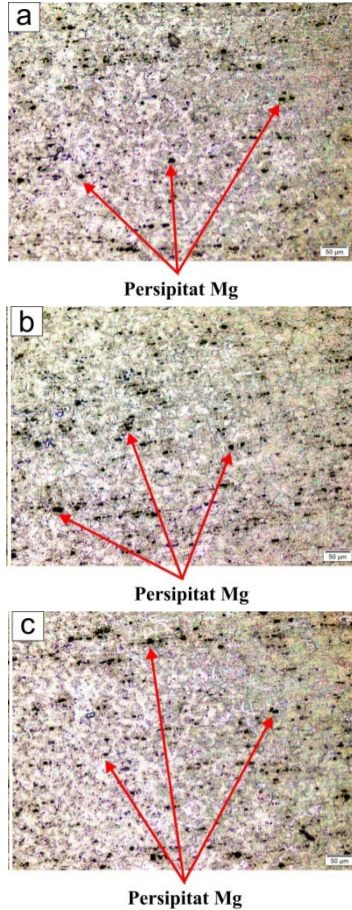
Porosity yang terjadi dapat disebabkan oleh terjebaknya gas hydrogen, nitrogen, atau oksigen dari udara sekitar pada saat pengelasan karena aliran gas pelindung yang kurang atau berlebih. *Weld through* disebabkan oleh kecepatan las yang terlalu rendah sehingga masukan panas yang terjadi terlalu besar dan mengakibatkan penetrasi elektroda cair terlalu dalam. *Lack of penetration* disebabkan oleh kecepatan las yang terlalu tinggi sehingga masukan panas yang terjadi kurang dan mengakibatkan penetrasi elektroda cair tidak dapat menembus logam las.

Gambar 3.5 memperlihatkan struktur mikro daerah *base material* (BM) bentuk butir cenderung pipih dan batas butir yang halus. Hal ini terjadi akibat proses *roll* saat proses pembuatan material. Sifat mekanis dari *base material* tidak terpengaruh oleh panas yang ditimbulkan oleh proses pengelasan.



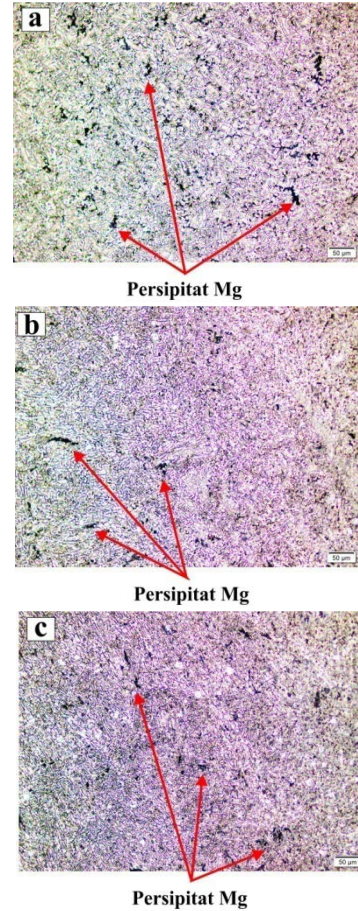
Gambar 3.5. Foto struktur mikro pada daerah *base metal* (BM)

Jika dibandingkan dengan daerah *base metal*, butir pada daerah HAZ mengalami perubahan bentuk dan menjadi lebih besar, serta banyak terjadi persipitasi. Hal ini ditandai dengan adanya bagian-bagian berwarna gelap.



Gambar 3.6. Foto struktur mikro daerah HAZ pada spesimen kecepatan las: (a) 12 mm/s, (b) 16 mm/s, (c) 20 mm/s

Daerah *weld metal* saat proses pengelasan akan mengalami pembekuan yang menghasilkan struktur mikro berupa butiran-butiran kecil berbentuk cemara yang sering disebut dendrit. Bentuk butir pada daerah *weld metal* spesimen $v = 20$ mm/s paling kecil dan paling halus dibandingkan yang lain. Sedangkan spesimen dengan $v = 12$ mm/s memiliki ukuran butir terbesar.



Gambar 3.7. Foto struktur mikro daerah *weld metal* (WM) pada spesimen kecepatan las: (a) 12 mm/s, (b) 16 mm/s, (c) 20 mm/s

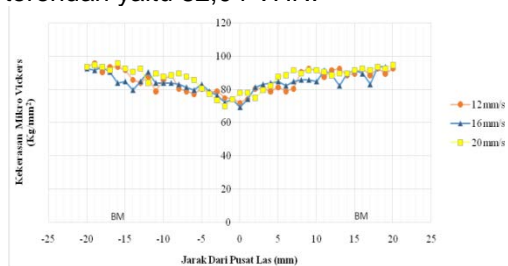
3.4 Hasil Uji Kekerasan Mikro Vickers

Uji kekerasan hasil las menggunakan *micro hardness Vickers* dan ditampilkan dalam bentuk grafik hubungan jarak tiap penetrasi indenter terhadap pusat las dengan besarnya *Vickers hardness number* (VHN). Berdasarkan Tabel 2, dapat diketahui bahwa VHN yang diperoleh menunjukkan nilai yang hampir sama pada bagian *weld metal* (WM). Pada bagian HAZ VHN ketiga spesimen lebih rendah daripada bagian *base metal* (BM). Hal ini terjadi karena terbentuknya presipitat dan ukuran butir yang berubah. Pada bagian *base metal* nilai kekerasan pada ketiga spesimen tidak terlalu jauh berbeda.

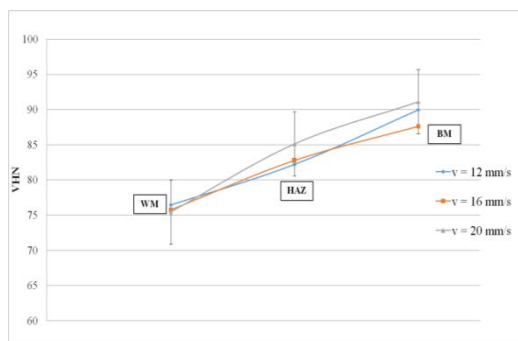
Tabel 2. Nilai kekerasan *Vickers* rata-rata

Spesimen	Nilai kekerasan <i>Vickers</i> rata-rata (VHN)			
	WM	HAZ	BM	Semua bagian
$v = 12$ mm/s	$76,42 \pm 3,43$	$82,18 \pm 5,26$	$89,96 \pm 3,78$	$82,85 \pm 6,79$
$v = 16$ mm/s	$75,76 \pm 4,94$	$82,74 \pm 2,28$	$87,63 \pm 4,21$	$82,04 \pm 5,96$
$v = 20$ mm/s	$75,44 \pm 3,35$	$85,12 \pm 4,77$	$91,10 \pm 2,56$	$83,89 \pm 7,9$

Berdasarkan data pada Tabel 2 dapat diketahui bahwa nilai VHN pada tiap variasi pengelasan memiliki tren yang sama. Nilai kekerasan paling rendah berada pada bagian *weld metal* (WM), kemudian nilai kekerasan mengalami kenaikan pada bagian HAZ, dan nilai kekerasan paling tinggi berada pada bagian *base metal* (BM). Sedangkan untuk nilai kekerasan rata-rata total, spesimen dengan $v = 20$ mm/s memiliki nilai tertinggi yaitu 83,89 VHN, spesimen dengan $v = 12$ mm/s sebesar 82,85 VHN, dan spesimen dengan $v = 16$ mm/s memiliki nilai terendah yaitu 82,04 VHN.



Gambar 3.8. Perbandingan nilai kekerasan mikro Vickers

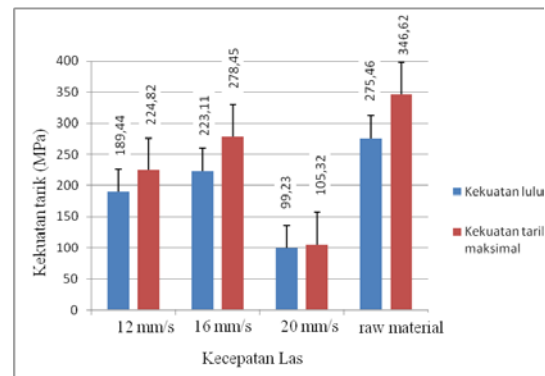


Gambar 3.9. Perbandingan VHN rata-rata pada daerah *weld metal* (WM), *heat affected zone* (HAZ) dan *base metal* (BM)

3.5 Hasil Uji Tarik

Hasil pengujian tarik menunjukkan nilai kekuatan tarik maksimal dan kekuatan luluh dari spesimen yang diuji.

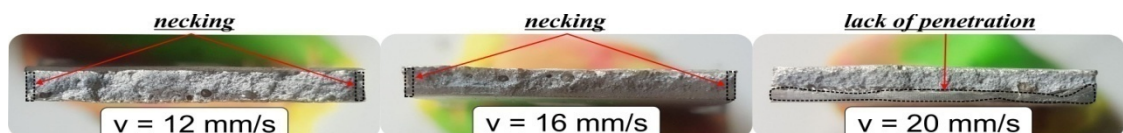
Hasil pengujian tarik ditampilkan pada Gambar 3.10.



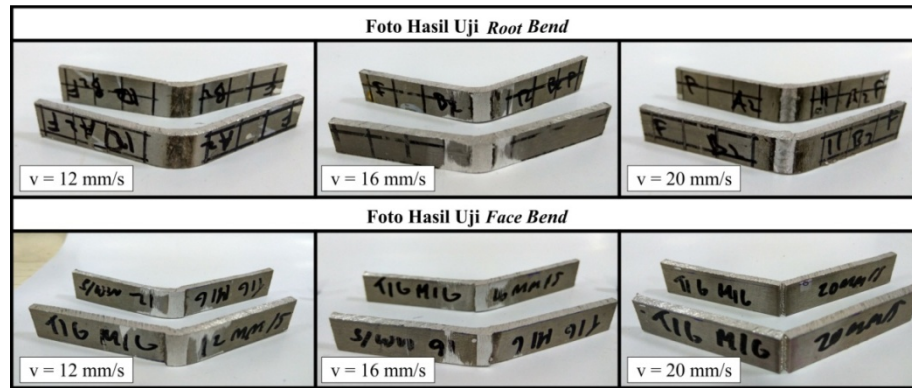
Gambar 3.10. Grafik hasil uji tarik

Hasil las Tandem TIG-MIG pada variasi kecepatan 12 mm/s dan 16 mm/s menghasilkan sambungan las yang bersifat ulet yang ditandai dengan adanya *necking* pada bekas patahan ujiinya (Gambar 3.11). Sedangkan spesimen pada variasi kecepatan las 20 mm/s menghasilkan sambungan yang bersifat getas karena patahan yang terjadi tegak lurus terhadap arah tegangan tarik dengan permukaan patahan yang mengkilat.

Patahan pada spesimen uji tarik variasi kecepatan las 12 mm/s dan 16 mm/s berada pada daerah HAZ. Daerah HAZ mengalami pemanasan dan pendinginan dengan cepat sehingga batas butirnya semakin besar. Semakin besar perubahan batas butir maka semakin banyak jumlah persipitap yang terbentuk sehingga mengakibatkan kekuatan daerah HAZ menjadi lemah dibanding WM dan BM. Sedangkan pada variasi kecepatan las 20 mm/s berada pada daerah WM. Hal ini terjadi karena *weld bead* pada variasi kecepatan las 20 mm/s terdapat cacat las *lack of penetration* yang diketahui dari foto makro pada sambungan las Tandem TIG-MIG. Variasi kecepatan las 16 mm/s memiliki hasil uji tarik tertinggi karena memiliki *weld bead* yang paling sempurna.



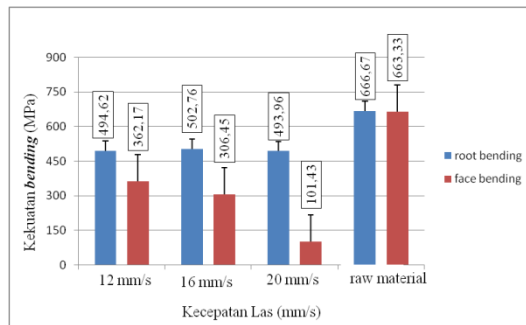
Gambar 3.11. Foto Makro spesimen patahan uji tarik



Gambar 3.12. Foto spesimen hasil uji *bending*

3.6 Hasil Uji *Bending*

Hasil pengujian *bending* menunjukkan nilai kekuatan *bending* maksimal hasil las. Pengujian *bending* dilakukan dengan dua macam pengujian yaitu uji *face bending* dan uji *root bending*. Hasil dari pengujian *bending* ditampilkan pada Gambar 3.13.



Gambar 3.13. Grafik hasil uji *bending*

Dari gambar grafik dapat diketahui bahwa kekuatan *bending* dengan metode *Face Bend* cenderung lebih besar daripada kekuatan *bending* dengan metode *Root Bend*. Standar deviasi yang sangat tinggi pada spesimen dengan $v = 20$ mm/s saat pengujian metode *Root Bend* mengindikasikan adanya cacat pada spesimen uji. Gambar spesimen setelah uji *bending* ditunjukkan pada Gambar 3.12.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian pada sambungan las Tandem TIG-MIG dengan arus dan tegangan las yang tetap pada pelat aluminium AA5083H116 dengan tebal 3 mm, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Semakin tinggi kecepatan las semakin sedikit perubahan sifat fisis yang terjadi pada logam las.

2. Semakin tinggi kecepatan las semakin kecil masukkan panas per panjang las yang diterima oleh logam las sehingga distorsi yang terjadi juga semakin kecil.
3. Kecepatan las yang memiliki sifat fisis dan sifat mekanis terbaik berdasarkan pengujian yang meliputi uji tarik, uji *bending*, dan kekerasan mikro *Vickers*, serta pengamatan foto makro-mikro adalah kecepatan las 16 mm/s.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya atas dukungan, saran, dan motivasi dari Bapak Mudjijana dan Bapak Muh. Budi Nur Rahman, serta saudara Relu, Ekak, Arif, Isnain, Henry, dan Yasin selaku rekan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

Ahmed, K.H., Abdul, L., Mohd, J., Pramesh, T, *Influence of Welding Speed on Tensile Strength of Welded Joint in TIG Welding Process*, Journal of applied Engineering Research, Dindigul Vol. 1, No 3, 2010, Hyderabad

Ambriz, R.R., Mayagoitia, V., 2011. *Welding of Aluminium Alloys*. Politécnico Nacional CIITEC-IPN, Meksiko.

American Society for Testing and Materials, 2009. *E8/E8M-09, Standard Test Method for Tension Testing of Metallic Materials*. ASTM International.

American Society for Testing and Materials, 2014. *E190-14, Standard Test Method for Guided Bend Test for Ductility of Welds*. ASTM International.

- American Society for Testing and Materials, 2015. *E407-07 (Reapproved 2015), Standard Practice for Microetching Metals and Alloys*. ASTM International.
- 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.
- Callister, Jr.W.D., 2013. *Material Science and Engineering: An Introduction, 8th ed.* John Wiley & Sons, USA.
- Cueca, F., Patarroyo, A., Rojas, F., Solano, E., Morales, A., 2012. *Study of the Weld Ability of Aluminium Alloy 5083 H116 with Pulsed Arc GMAW (GMAW-P)*. Colombia: Ship Science & Technology.
- Goecke, S. and Kaufmann, H., 2001. *Tandem MIG/MAG Welding*. Researchgate.
- Granjon, H., 1991. *Fundamentals of Welding Metallurgy*. Woodhead Publishing Limited, Cambridge.
- Haelsig, A., Kusch, M., Mayr, P., 2012. *New Findings on The Efficiency of Gas Shielded Arc Welding*. Chemnitz University of Technology, Jerman.
- Ismail, N.I., 2014. *Pengaruh Putaran Tool terhadap Sifat Mekanis dan Korosi pada Sambungan Tak Sejenis Las FSW AA 6061-T6 dan AA 5083*. Skripsi S1, Universitas Gadjah Mada.
- Jesus, J.S., Costa, J.M., Loureiro, A., Ferreira, J.M., 2017. *Fatigue Strength Improvements of GMAW T-welds in AA 5083 by Friction-Stir Processing*. Fatigue 97 (2017) 124-134, Elsevier Ltd.
- Kumar, P., Anoop, C.A., Kumar, S., 2013. *Study of Heat Input for GTA Welded Aluminium Alloy 7039*. International Journal of Engineering Science and Innovative Technology.
- Liu, Y., Wang, W., Xiea, J., Sun, S., Wang, I., Qian, Y., et al. *Microstructure and Mechanical Properties Aluminium 5083 Weldments by Gas Tungsten Arc and Gas Metal Arc Welding*. Mater Sci Eng A 2012; 54; 2017- 11.
- Mandalf, N.R., 2005. *Aluminium Welding, 2nd ed.* Narosa Publishing House Pvt Ltd, India.
- Mandalf, N.R., 2017. *Ship Construction and Welding, Vol. 2*. Springer Nature Singapore Pte Ltd.
- Mathers, G., 2002. *The Welding of Aluminium and Its Alloys*. Woodhead Publishing Limited, Cambridge.
- Messler, Jr.R.W., 1999. *Principles of Welding – Process, Physics, Chemistry, and Metallurgy, 1st ed.* John Wiley & Sons, USA.
- Mezbahul-Islam, M., Mustafa, O.A., Medraj, M., 2014. *Essential Magnesium Alloys Binary Phase Diagrams and Their Thermochemical Data*. Hindawi Publishing Corporation, Canada.
- Mudjijana, Iman, 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.
- Pamungkas, O.S., 2016. *Pengaruh Posisi Sudut Torch terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Sambungan Las TIG Bahan AA 5083 H116 dan Elektroda ER 5356*. Skripsi S1, Universitas Gadjah Mada.
- Qin, Guoliang., Meng, Xiangmeng., Fu, Banglong., 2015. *High Speed Tandem Gas Tungsten Arc Welding Process of Thin Stainless Steel Plate*. Material Processing Technology 220 (2015) 58-64. Elsevier Ltd.
- Sheasby, P.G. and R. Pinner, 2001, *The Surface Treatment and Finishing of Aluminum and Its Alloys 6th Edition*. ASM International.
- Singh, R., 2016. *Applied Welding Engineering – Processes, Codes, Standards, 2nd ed.* Elsevier Inc, Oxford

Smith, W. F., dan Javad H., 1993, *Foundations of Materials Science and Engineering*, 5th ed in SI Units, University of Central Florida – McGraw Hill Inc.

Sproesser, G., Pittner, A., Rethmeier, M., 2016. *Increasing Performance and Energy Efficiency of Gas Metal Arc Welding by a High Power Tandem Process*. 13th Global Conference on Sustainable Manufacturing, Elsevier B.V.

Surdia, T. dan Saito, S., 1992, *Pengetahuan Bahan Teknik*, P.T Pradnya Paramitha, Jakarta.

Putra, A.S., 2018. *Pengaruh Jarak Antar Elektroda terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Sambungan Las T-GMAW Bahan Aluminium AA 5083H116*. Skripsi S1, Universitas Gadjah Mada.

Sutrimo, 2008, *Proses Pengelasan GMAW (Consumable Welding Process)*. Politeknik Negeri Bandung.

Udomphol, T., 2007. *Aluminium and Its Alloys*. Lecture presentation. Suranaree University of Technology.

Weman, K., 2012. *Welding Processes Handbook, 2nd ed*. Woodhead Publishing Limited, Cambridge.

Wirjosumarto, H., Okumura, T., 2000. *Teknologi Pengelasan Logam*. PT Pradnya Paramita, Jakarta.

Xueping, D., Huan, L., Huiliang, W., Jiquan, L., 2016. *Numerical Analysis of Arc Plasma Behavior in Double-Wire GMAW*. Vacuum 124 (2016) 46-54, Elsevier Ltd.