

## 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 GMAW Double Layer Tack Welded Bahan Aluminium AA5083H116

Judul Naskah Publikasi: The Influence of Welding Speed to Distortion and Mechanical Properties in the Welded Joint GMAW Double Layer Tack Welded Material Aluminium AA5083H116

Nama Mahasiswa: Isnain Hidayat

NIM: 20140130250

Pembimbing 1: Ir. Mudjijana, M.Eng.

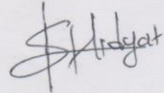
Pembimbing 2: Muhammad Budi Nur Rahman, S.T., M.Eng.

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



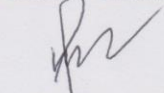
Tanggal 18-Mei-2018

Isnain Hidayat

#### Persetujuan Dosen Pembimbing dan Program Studi

Disetujui

#### Dosen Pembimbing



Ir. Mudjijana, M.Eng

Tanggal 19-Mei-2018

#### Ketua/Sekretaris Program Studi



Berli Paripurna Kamel, 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 in the Welded Joint GMAW Double Layer Tack Weld AA5083H116

Hidayat, I.<sup>1</sup>, Mudjijana<sup>2</sup>, Rahman, M.B.N.<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup>Dept. Of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Muhammadiyah Yogyakarta of University

<sup>2</sup>Dept. Of Mechanical and Industrial Engineering, faculty of Engineering, Gadjah Mada of University  
e-mail: [lsnan.hidayat.2014@ft.umy.ac.id](mailto:lsnan.hidayat.2014@ft.umy.ac.id)

---

## Abstract

In this method the welding is GMAW. Where the welding is very suitable for welding thin-shaped materials as well as on the body of the aircraft and ship. In addition, the plate is welded in the form of aluminum, aluminum superiority in addition to strong is one metal that is resistant to corrosion so that the reason why aluminum is widely used in the body of aircraft and ships. In this study the welding process using GMAW 2 layer tack weld method with the material to be joined is aluminum alloy with AA 5083 H116 series with thickness 3 mm. in this welding process the variations in the specified speed are: 8 mm/s, 10 mm/s, and 12 mm/s. while the fixed voltage parameters  $E = 19$  V, and  $I = 110$  A. After the welding process are completed the observations include distortion measurements, measurement of hardness values (Vickers), tensile testing, bending tests and microstructure.

Based on the results of tests conducted, showed that the welding specimen with a speed of 12 mm/s has the largest distortion with a value of 11.49 mm. The largest value of ultimate tensile strength was found at 8 mm/s speed variation of 316.9 MPa. The highest hardness values were shown at the 10 mm/s variation in HAZ and base metal (BM), variation of 8 mm/s weld metal (WM). The maximum bending strength was found in the 8 mm/s velocity specimen with face bending method of 414.51 MPa.

**Keywords** : GMAW double layer tack weld, AA5083H116, distortion, Physical and material properties

---

## 1. PENDAHULUAN

Mengikuti alur zaman yang semakin modern ini perkembangan berbagai bidang konstruksi dan permesian banyak dijumpai dalam proses manufaktur. Salah satu teknologi yang tidak asing lagi yaitu pengelasan. Teknologi pengelasan banyak ditemui dan digunakan karena proses cara menggunakannya yang cepat dan efisien sehingga efektif dalam segi biaya dan waktu produksi. Oleh sebab itu teknologi pengelasan terus banyak dikembangkan untuk mampu memenuhi fungsinya.

Dalam dunia perindustrian saat ini, industri yang masih beroperasi mulai mempertimbangkan penggunaan logam paduan khususnya aluminium sebagai salah satu bahan baku dalam proses produksinya. Adapun industri perkapalan mulai untuk menggunakan paduan aluminium dalam pembuatan bodi konstruksinya. Untuk aluminium yang digunakan sebagai pembuatan kapal adalah aluminium dengan seri AA5083H116. Pada seri 5083 merupakan paduan logam ringan karena mempunyai massa jenis dibawah  $4,5 \text{ g/cm}^3$  (Ashby and

Jones, 1998). Material tersebut diaplikasikan dalam konstruksi kapal karena mempunyai ketahanan tingkat korosi yang baik dan kekuatan tarik yang tinggi.

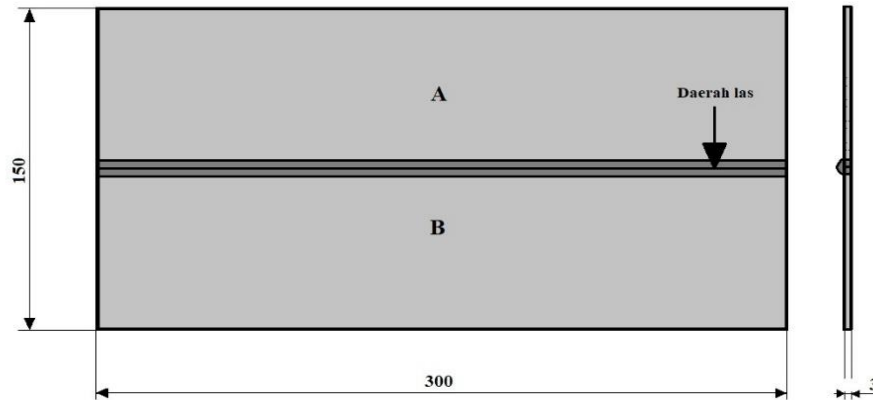
Pada proses pengelasan, salah satu hal penting yang perlu diperhatikan adalah parameter dari kecepatan suatu pengelasan. Parameter tersebut sangat berpengaruh besar terhadap nilai dari kualitas hasil las dari segi fisis maupun mekanisnya. Oleh karena itu perlu dilakukan suatu penelitian untuk mengetahui bagaimana pengaruh kecepatan pengelasan pada pengelasan GMAW tunggal yang dikembangkan menjadi GMAW 2 layer atau proses pengelasan dua kali pengulangan las pada titik awal pengelasan yang sama. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisa distorsi, sifat fisis dan sifat mekanis dari bahan yang di las berupa plat aluminium AA 5083 H116 setelah pengelasan GMAW 2 layer. Diharapkan dengan adanya penelitian ini dapat diketahui perbandingan hasil pengelasan, maupun kelemahan pada hasil lasan GMAW 2 layer dan dapat meminimalisir kekurangan dari metode pengelasan tersebut.

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

### 2.1 Bahan las

Dalam proses persiapan ini meliputi spesimen yang berdimensi 300 mm x 150 mm x 3 mm sebanyak 3 plat yang akan di belah atau pemotongan melintang sampai terbentuk

plat berukuran 300 mm x 75 mm x 3 mm sebanyak 6 buah plat. pemotongan plat dilakukan dengan mesin CNC *milling* di UPT Logam Yogyakarta. seperti (Gambar 1) dimensi ukuran plat yang akan dilakukan pengelasan.

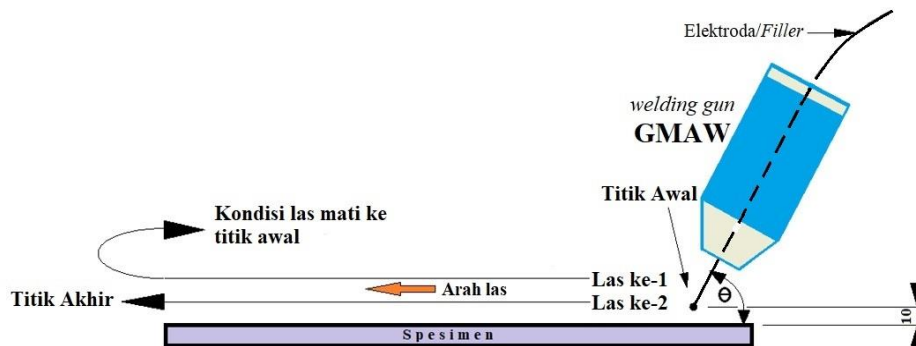


Gambar 1. Dimensi bahan plat las

### 2.2 Proses pengelasan MIG 2 layer tack weld

Pengelasan yang dilakukan dengan menggunakan 1 buah mesin las merek *Terjima* MIG -200S. Prinsip kerja dari las 2

layer ini adalah pengelasan dengan menggunakan 1 buah mesin las yang akan dilakukan pengelasan sebanyak dua kali pengelasan dalam jarak dan alur tempat yang sama, serta sudut yang sama.

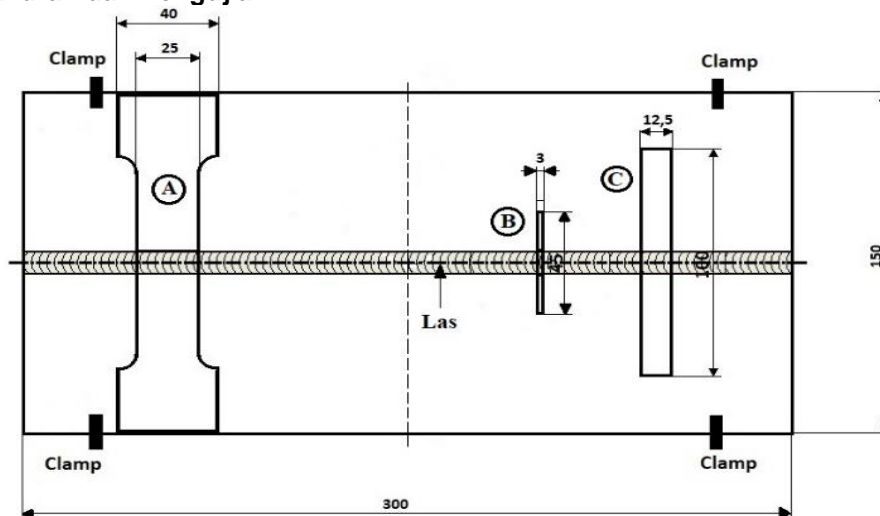


Gambar 2. Skema pengelasan GMAW *double layer tack weld*

Tabel 1. Parameter dan variasi pengelasan GMAW *double layer tack weld*

Parameter	MIG/GMAW
Variasi kecepatan las (S)	8 mm/s, 10 mm/s, 12 mm/s.
Jarak elektroda dengan spesimen	10 mm
Sudut pengelasan ( $\theta$ )	80°
Asumsi tegangan las (v)	19 V
Arus las (I)	120 A
Filler Diameter	0,8 mm
Filler Rate	27-29 mm/s
Argon flow	15 liter/menit
Jeda pengelasan 1 dan 2	15 detik

### 2.3 Pengukuran dan Pengujian

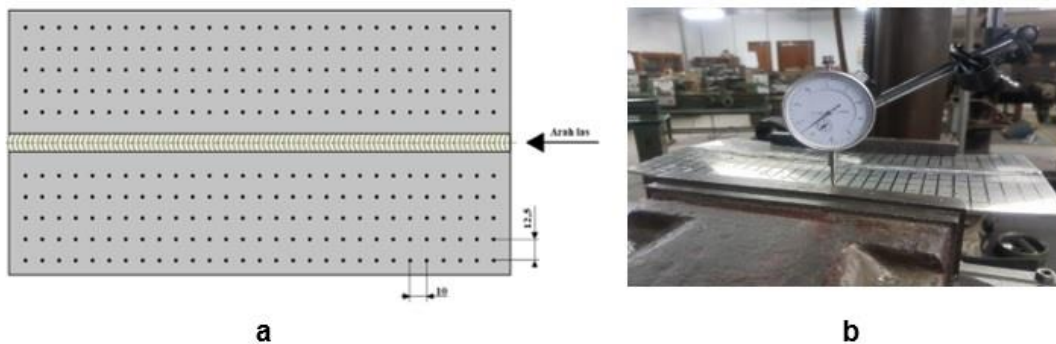


Gambar 4. Lay out dimensi spesimen uji pada plat las

#### 2.3.1 Pengukuran Distorsi

Pada pengukuran distorsi ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui seberapa besar deformasi plat setelah mengalami perubahan suhu yang disebabkan las MIG *double layer*

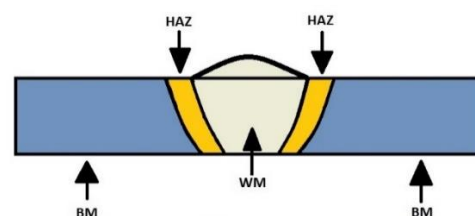
*tack weld*. Pengukuran ini menggunakan dial indikator dengan cara mengukur perbedaan ketinggian pada tiap-tiap titik permukaan spesimen las.



Gambar 3. skema pengukuran distorsi

#### 2.3.2 Pengujian struktur mikro

Pada pengujian tanpa merusak (*non destructive test*) pada spesimen ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana bentuk struktur mikro dari hasil las MIG *double layer* dengan berbagai variasi kecepatan las yang berbeda. Dalam proses pengamatan struktur mikro meliputi pengamatan daerah logam las (*weld metal*), daerah yang terpengaruh panas (*heat affected zone*), dan logam induk (*base metal*).



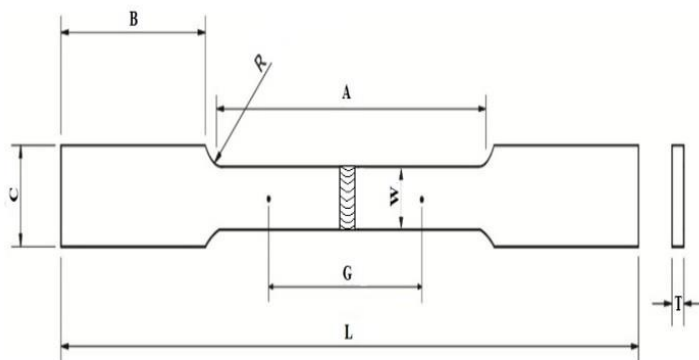
Gambar 4 daerah las GMAW *double layer TW*

Daerah pengelasan terbagi menjadi tiga bagian, yaitu 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*). Selanjutnya yang terakhir adalah logam induk (*base metal*) merupakan daerah spesimen yang tidak terpengaruh atau daerah yang sedikit menerima panas saat proses pengelasan berlangsung.

**2.3.3 Uji tarik**

Pada pengujian tarik yang dilakukan ini bertujuan untuk mengetahui nilai tingkat kekuatan luluh (*yield strenght*) dan kekuatan tarik maksimal (*ultimate tensile strength*) dari spesimen hasil las MIG *double layer*. Pengujian dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik Departemen Teknik Mesin dan Industri Fakultas Teknik Gajah Mada. Adapun variabel yang di ujikan yaitu hasil spesimen dengan kecepatan las 8 mm/s, 10 mm/s, dan 12 mm/s. Jumlah spesimen uji masing-masing 2 buah dari semua variabel kecepatan las tersebut. Berdasarkan standar ASTM E8-09 seperti yang tunjukan sesuai (Gambar 5).



Dimana dengan ketentuan ukuran sebagai berikut :

<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
<i>Radius of fillet (R)</i>	= 25 mm

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

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

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \tag{1}$$

Dimana :

- $\sigma$  = Tegangan (kg/mm<sup>2</sup>)
- P = Beban (kg)
- A<sub>0</sub> = Luas penampang mula-mula (mm<sup>2</sup>)

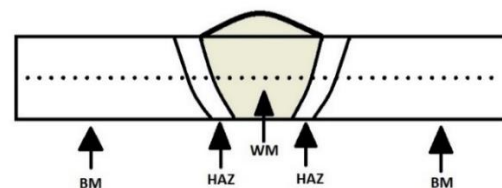
$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% \tag{2}$$

Dimana :

- $\epsilon$  = Regangan (%)
- $\Delta L$  = Selisih panjang ukuran sebelum dan sesudah patah (mm)
- L<sub>0</sub> = Panjang ukur mula-mula (mm)

**2.3.4 Uji kekerasan**

Pada pengujian kekerasan ini bertujuan untuk melihat tingkat nilai kekerasan dari bahan aluminium 5083 H116 setelah mengalami proses pengelasan MIG *double layer tack weld* . untuk alat yang digunakan dalam pengujian ini yaitu merek *Buehler* dengan bentuk jenis indentor *Vickers*



Gambar 6. Skema pijakan indentor vickers



a

Spesifikasi alat uji	Keterangan
Nama alat	Buehler
Beban pengujian	100 gram
Jenis Indentor	Vickers
Waktu tunggu pembebanan	10 detik

b

Gambar 7. (a) mesin uji kekerasan dan (b) spesifikasi mesin uji kekerasan

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/mm<sup>2</sup>)

P = beban yang diterapkan (kgf)

d1 = diameter pinjakan 1

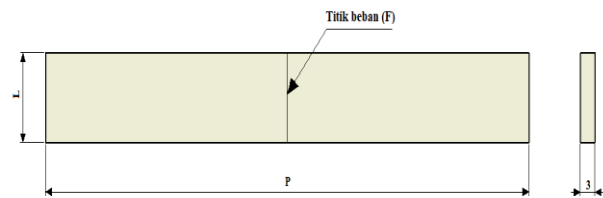
d2 = diameter pinjakan 2

d = panjang diagonal rata-rata (mm)

θ = sudut permukaan intan 136°

### 2.3.5 Uji Bending

Pengujian *bending* merupakan pengujian sifat mekanis bahan terhadap spesimen uji yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui tingkat kekuatan *bending* dari spesimen uji. Metode dalam pengujian ini menggunakan *Three point bending*, yaitu pengujian bending dengan 2 tumpuan dan satu buah indenter penekan yang persis di tengah-tengah kedua tumpuan



Gambar 8. Dimensi spesimen uji bending

Perhitungan untuk menentukan tegangan bending dapat dilihat dalam persamaan 4, sebagai berikut :

$$\sigma_b = \frac{3 PL}{2 b d^2} \quad (4)$$

Dimana :

σ<sub>b</sub> = Tegangan Bending (Mpa)

L = Panjang span (mm)

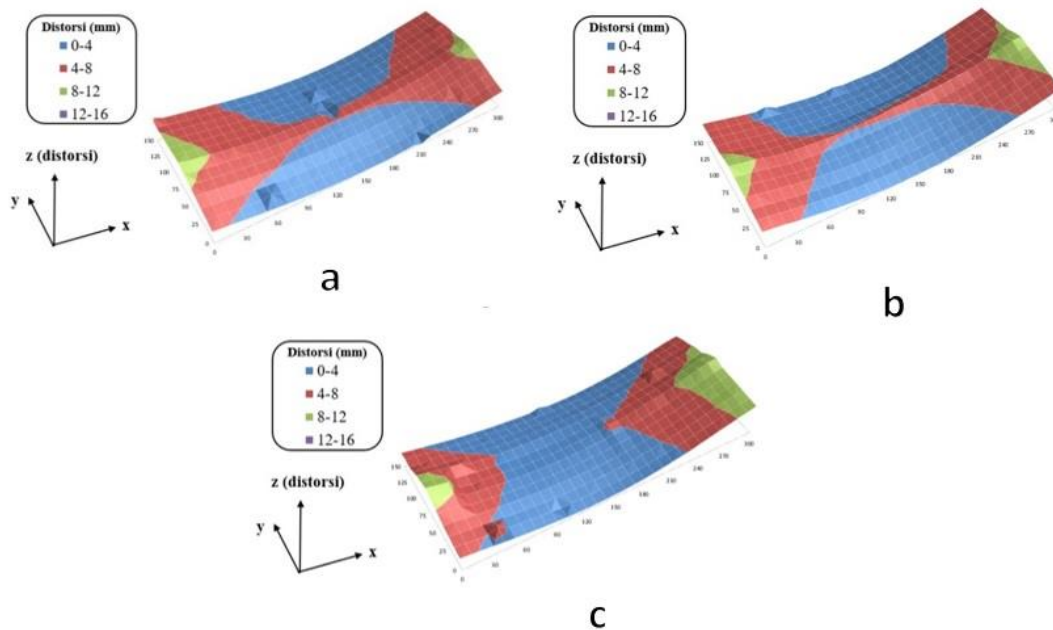
P = Beban (N)

D = Tebal (mm)

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

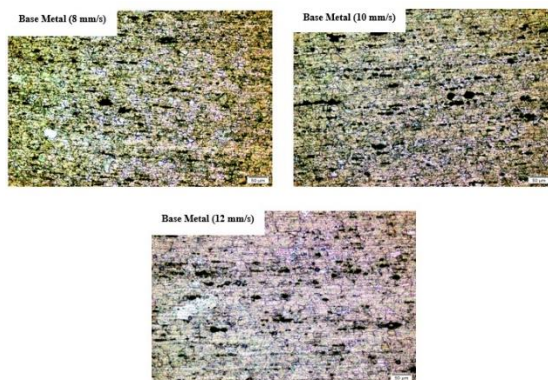
### 3.1 Pengukuran Distorsi Pengelasan

Pada pengukuran distorsi plat setelah mengalami proses pengelasan, hal ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui hasil perbandingan pada tiap-tiap spesimen yang berbeda variasi pengelasannya



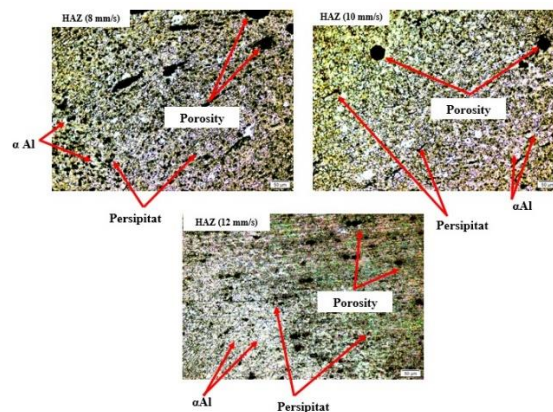
Gambar 9. (a)  $v = 8 \text{ mm/s}$ , (b)  $v = 10 \text{ mm/s}$ , dan (c)  $v = 12 \text{ mm/s}$

### 3.2 Hasil Pengamatan struktur Mikro & Makro



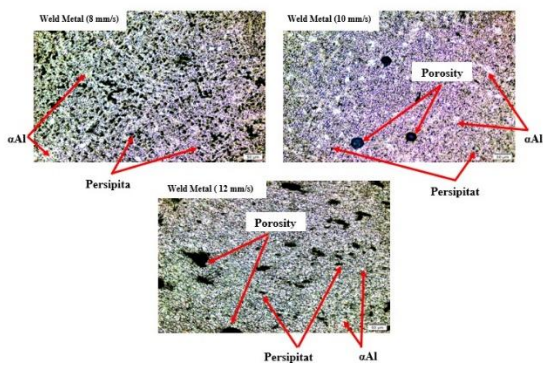
Gambar 10. Struktur mikro daerah base metal las MIG double layer tack weld

Daerah HAZ, bila di bandingkan dengan daerah base metal, daerah HAZ memiliki batas butir yang lebih kecil. dapat terlihat pada spesimen dengan kecepatan 12 mm/s bahwa bentuk batas butir lebih banyak dan terlihat merata.

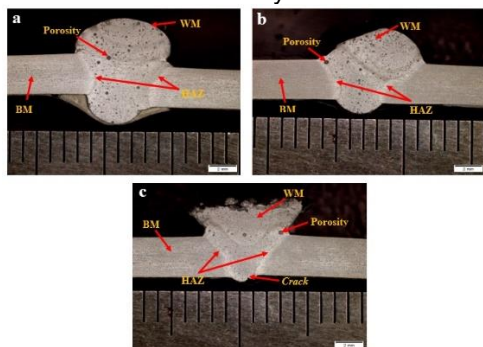


Gambar 11. Struktur mikro daerah HAZ las MIG double layer tack weld

Tampak terlihat daerah *weld metal* berbeda dengan daerah HAZ dan base metal, dimana batas butir terlihat lebih kecil dan lembut. Pada daerah ini terjadi pencampuran antara *raw material* dengan *filler* atau logam pengisi, setelah proses pengelasan mengalami proses pembekuan dan menghasilkan struktur mikro berupa butiran-butiran kecil. Panas pengelasan pada paduan logam akan menyebabkan terjadinya lelehan atau pencairan sebagian. rekristalisasi, dan pengendapan (Wiryosumarto, 2000).



Gambar 12. Struktur mikro daerah weld metal las MIG double layer tack weld



Gambar 13 Struktur makro sambungan las MIG double layer tack weld (a) kecepatan 8

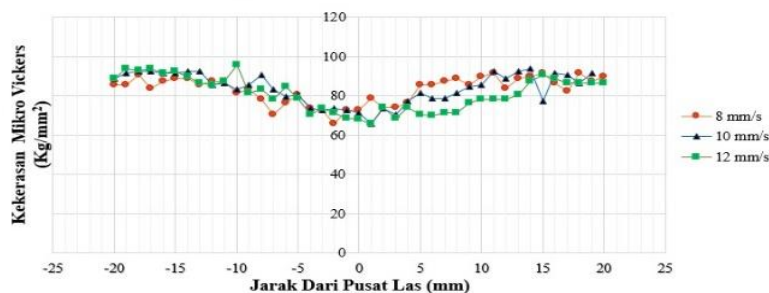
### 3.3 Hasil Uji kekerasan Mikro vickers

Untuk uji kekerasan pada aluminium 5083, dimana pegujian hasil las MIG *double layer teck weld* menggunakan *micro hardness vickers*. Beban indentasi yang digukan sebesar 100 gram dengan waktu tunggu 10 detik. Perbedaan nilai hasil uji kekerasan dapat

mm/s, (b) kecepatan 10 mm/s, dan (c) kecepatan 12 mm/s

Perbedaan daerah pengelasan antara *base metal* (BM), *heat affected zone* (HAZ) dan, *weld metal* (WM). Terjadinya porositas banyak ditemui pada bagian weld metal. Porositas adalah cacat las yang terjadi karena hidrogen yang larut saat proses pengelasan teeperangkap dalam weld metal (Singh, 2012). adapun spesimen pada pengelasan dengan kecepatan 12 mm/s terdapat *crack*. Selain itu juga spesimen mengalami *lack of penetration*. pada hasil lasan. hal tersebut terjadi bisa akibatkan juga karena arus pengelasan yang rendah dimana kecepatan las bergerak cepat, sudut *torch*, dan jarak *torch* yang tidak sesuai (Singh, 2012).

dilihat dalam bentuk grafik hubungan jarak tiap pijakan indenter terhadap pusat alur las dengan besarnya *Vickers Hardness Number* (VHN). Nilai jarak antar penetrasi pijakan indenter sebesar 1000 mikron atau sama dengan 1 mm.

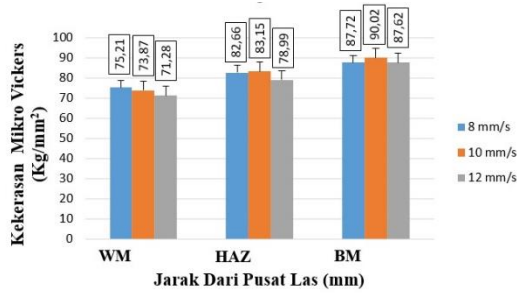


Gambar 4. 1 Grafik perbandingan nilai kekerasan spesimen kecepatan 8,10,12 mm/s

Dari grafik diatas dapat terlihat perbandingan, bahwa nilai dari pengujian kekerasan pada spesiemen kecepatan 8 mm/s, 10 mm/s, dan 12 mm/s menunjukan nilai yang tidak berbeda jauh. Pada gambar nilai kekerasan daerah dari ketiga spesimen tersebut bahwa nilai kekerasan HAZ lebih rendah dibandingkan dengan daerah *base metal* (BM). Hal ini bisa terjadi karena perubahan struktur butir pada spesimen oleh

pengaruh panas di saat proses pengelasan berlangsung. Pada bagian *weld metal* (WM), nilai kekerasan ketiga spesemen tidak jauh berbeda pula, namun dari ketiga daerah tersebut pada daerah *weld metal* cenderung lebih rendah karena pada daerah tersebut pembentukan panas dan banyaknya persipitat terbesar.





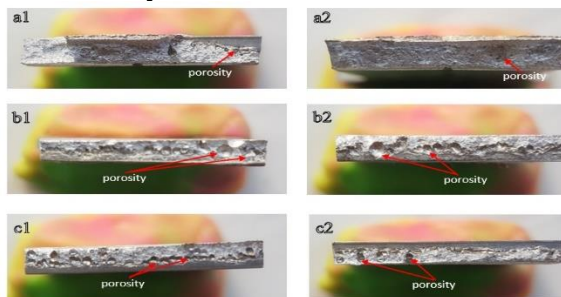
Gambar 14 Perbandingan nilai kekerasan rata-rata.

Tabel 2. Nilai kekerasan rata-rata

Variasi Pengelasan	WM	HAZ	BM
Kecepatan 8 mm/s	75,21 ± 3,646	82,66 ± 7,797	87,72 ± 4,573
Kecepatan 10 mm/s	73,87 ± 5,121	83,15 ± 6,094	90,02 ± 2,650
Kecepatan 12 mm/s	71,28 ± 4,392	78,99 ± 3,716	87,62 ± 3,793

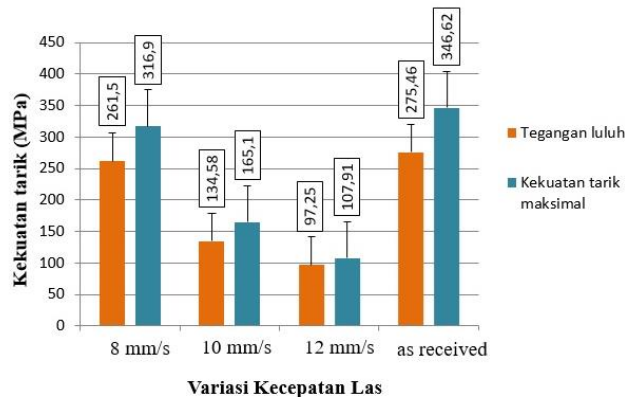
Berdasarkan Gambar 14 yang diperoleh dari Tabel 2 didapat nilai rata-rata dari uji kekerasan dan standar deviasi. Spesimen dengan kekerasan tertinggi pada daerah *weld metal* terdapat pada spesimen variasi kecepatan 8 mm/s, sedangkan nilai terendah terdapat pada variasi kecepatan 12 mm/s. Dimana pengaruh kecepatan yang semakin rendah membuat penetrasi logam las semakin baik, sehingga nilai kekerasan akan semakin meningkat akibat laju pendinginan yang seimbang dengan lama panas yang di terima spesimen. Pada daerah HAZ dari ketiga spesimen tersebut untuk nilai kekerasan tertinggi terdapat pada kecepatan 10 mm/s dan terendah 12 mm/s. Begitu juga pada daerah *base metal* nilai kekerasan tertinggi pada kecepatan 10 mm/s dan terendah pada kecepatan 12 mm/s.

### 3.4 Hasil Uji tarik



Gambar 2 Hasil foto makro spesimen uji tarik, kecepatan 8 mm/s (a1,a2), kecepatan

10 mm/s (b1,b2), dan kecepatan 12 mm/s (c1,c2)



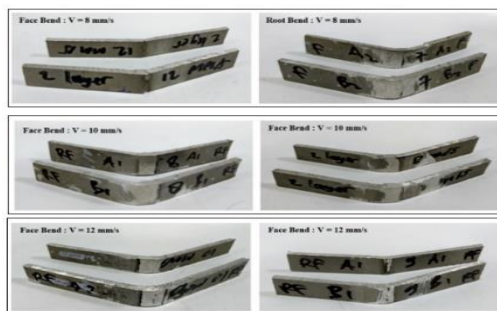
Gambar 16. Grafik hasil uji tarik

Dari proses pengujian tarik pada spesimen yang terlihat pada foto makro (Gambar 15) diatas pengujian tersebut menghasilkan grafik nilai kekuatan tarik dan luluh seperti pada (Gambar 16) Dari data grafik tersebut nilai kekutan tarik maksimal dan kekuatan luluh *raw material* sebesar 346,62 MPa dan 275,46 MPa. Selanjutnya mengenai hasil uji tarik pada spesimen las MIG *double layer tack weld* kecepatan las 8 mm/s yaitu nilai kekuatan tarik maksimal sebesar 316,9 MPa dan kekuatan luluh sebesar 261,5 MPa. Spesimen dengan kecepatan 10 mm/s memiliki kekuatan tarik maskimal 165,1 MPa dan kekuatan luluh 134,58 MPa, dan pada spesiemen dengan kecepatan 12 mm/s memiliki kekuatan tarik sebesar 107,91 MPa dan kekuatan luluh 97,25 MPa. Spesimen dengan kecepatan 12 mm/s

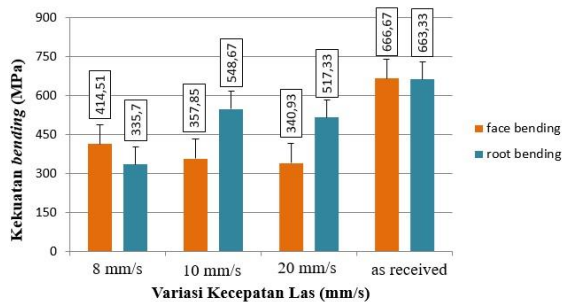
tersebut merupakan spesimen dengan hasil nilai terendah dibandingkan spesimen dengan kecepatan 8mm/s dan 10 mm/s.

### 3.5 Hasil Uji Bending

Pengujian beding dilakukan ununtuk mengetagui nilaki kekuatan bending yang dapat di terima oleh spesimen uji. Pengujian *bending* dibuat berdasarkan ketentuan standar ASTM D790 dengan dimensi ukuran panjang = 100, lebar = 12,7 mm, Tebal = 3mm dengan jarak tumpuan 50 mm. Pengujian bending dilakukan dengan 2 macam proses pengujian yaitu uji posisi *face bending* dan uji posisi *root bending*.



Gambar 17 Hasil uji bending Spesimen kecepatan 8 mm/s, 10 mm/s dan 12 mm/s setelah uji bending



Gambar 18 . Grafik hasil uji bending *face bending* dan *root bending*

Berdasar hasil nilai pengujian *bending* yang dapat terlihat oleh grafik di atas, nilai *raw material* uji bending pada *face bending* sebesar 666,67 MPa. Sedangkan perbandingan dengan spesimen yang sudah mengalami pengelasan di atas bahwa spesimen tersebut mengalami penurunan nilai kekuatan *bending* kurang lebih sekitar 55 %. selanjutnya mengenai perbandingan dari spesimen yang sudah mengalami peroses pengelasan, bahwa nilai kekuatan *bending* metode *face bending* tertinggi terdapat pada

spesimen pengelasan dengan kecepatan 8 mm/s sebesar 414,51 MPa dan nilai terendah sebesar 340,93 MPa pada spesimen kecepatan las 12 mm/s. Sedangkan hasil nilai kekuatan *bending* dengan metode *root bending*, dimana berdasarkan grafik yang diperoleh menunjukkan bahwa nilai kekuatan *bending* tertinggi terdapat pada spesimen dengan kecepatan 10 mm/s. Hal ini di dikarenakan hasil pegelasan pada kecepatan 10 mm/s mengalami penumpukan logam las tidak simetris seperti yang terlihat pada foto hasil makro (Gambar 4.4) dan menyebabkan penambahan ukuran las yang terdapat pada bagian *base metal* lebih luas. Sehingga hasil kekuatan uji bending dengan metode *root bending* pada kecepatan 10 mm/s lebih besar.

### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan menurut hasil penelitian dan pengujian pada sambungan las MIG *Double Layer Tack Weld* dengan ketentuan variasi kecepatan las sebesar 8 mm/s, 10 mm/s dan 12 mm/s, telah di dapat kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari gasil pengujian bahwa kecepatan las 8 mm/s mempunyai nilai sifat mekanis sperti uji tarik, dan uji kekerasan yang lebih baik.
2. Berdasarkan pengamatan langsung yang dilakukan waktu proses pengelasan sampai selesai pengelasan, bahwa faktor lingkungan dan pelepasan tanggem pengunci plat dapat mempengaruhi hasil distorsi. Distorsi terbesar spesimen terjadi pada variasi dengan kecepatan las 12 mm/s sedangkan hasil distorsi terendah terjadi pada spesiemen variasi kecepatan 8 mm/s.
3. Kecepatan pengelasan yang semakin tinggi, dapat mempengaruhi sifat mekanis sepertihalnya perubahan distorsi pada spesimen. Semakin tinggi kecepatan las maka laju pendinginan akan semakin cepat hal ini dapat mempengaruhi hasil dari pembentukan distorsi pada spesimen.

### 5. UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan banyak terimakasih terutama kepada Allah SWT,

Bapak Mudjijana, dan Bapak Muh. Budi Nur Rahman selaku pembimbing, serta Bapak Rela, saudara Chandra, Ekak, Henri, Arif, yasin selaku rekan kerja proyek penelitian.

*Welding*. Chemnitz University of Technology, Jerman.

Kou, S., 2003, *Welding Metallurgy*, 2nd ed, John Willey & Sons, Inc

#### DAFTAR PUSTAKA

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

Li, S., Dong, H, Shi, L., Li, P., Fe., Y. 2017. *Corrosion Behavior and Mechanical Properties of Al-Zn-Mg Aluminum Alloy Weld*. Corrosion Science 123 (2017) 243–255, Elsevier, PR China.

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

Mandal, N.R., 2005. *Aluminium Welding*, 2nd ed. Narosa Publishing House Pvt Ltd, India.

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

Mathers, G., 2002. *The Welding of Aluminium and Its Alloys*. Woodhead Publishing Limited, Cambridge.

American Society of Mechanical Engineers, 2001. *Materials Part C – Specifications for Welding Rods, Electrodes, and Filler Metals*. ASME, New York.

Messler, Jr.R.W., 1999. *Principles of Welding – Process, Physics, Chemistry, and Metallurgy*, 1st ed. John Wiley & Sons, USA.

American Society for Metals, 1986, *After Binary Alloy Phase Diagrams*, Vol. 1, ASM International, The Materials Information Company.

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.

Ardiansyah, R., 2015. *Pengaruh Heat Input terhadap Distorsi dan Sifat Mekanis pada Sambungan Las MIG Aluminium Paduan AA 5083*. Skripsi S1, Universitas Gadjah Mada.

Sheasby, P.G. and R. Pinner, 2001, *The Surface Treatment and Finishing of Aluminum and Its Alloys 6th Edition*. ASM International.

Ariwibowo, F, 2016. *Karakterisasi Hydrogen Induced Cracking pada Bahan AA5083 H116 di Las Metal Inert Gas dengan Elektroda AA 5356 di Lingkungan 3,5% WT NaCl*. Skripsi S1, Universitas Gadjah Mada.

Singh, R., 2016. *Applied Welding Engineering – Processes, Codes, Standards*, 2nd ed. Elsevier Inc, Oxford

Callister, Jr.W.D., 2010. *Material Science and Engineering: An Introduction*, 8th ed. John Wiley & Sons, USA.

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.

Cary, H.W., dan Helzer, S., 1994, *Modern Welding Technology*, 6th ed, Prentice Hall.

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

Granjon, H., 1991. *Fundamentals of Welding Metallurgy*. Woodhead Publishing Limited, Cambridge.

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

Haelsig, A., Kusch, M., Mayr, P., 2012. *New Findings on The Efficiency of Gas Shielded Arc*

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

Wiryosumarto, 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.

