

# Program Studi Teknik Mesin

## Lembar Persetujuan Naskah Publikasi dan Abstrak Tugas Akhir (TA)

Judul TA: Pengaruh Jarak Antar Elektroda Terhadap Distorsi dan Sifat Mekanis pada Sambungan Las T-Gmaw Tack Welded Bahan Aa 5083 H116

Judul Naskah Publikasi: The Influence of Electrode Distance On Distortion and Mechanical Properties of Welded Joints T-GMAW Tack Welded Material AA5083H116

Nama Mahasiswa: Henry Kurniawan

NIM: 20140130279

Pembimbing 1: Ir. Mudjijana, M.Eng.

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

Hal yang dimintakan persetujuan \*:

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

\*beri tanda √ di kotak yang sesuai



Henry Kurniawan

Tanggal 19 Mei 2018

## Persetujuan Dosen Pembimbing dan Program Studi

Disetujui



Ir. Mudjijana, M.Eng.

Bertu Panjurna Kamel, S.T., M.Eng.Sc., Ph.D.

Tanggal 19 Mei 2018

Tanggal

21/5/18

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

# The Influence of Electrode Distance On Distortion and Mechanical Properties of Welded Joints T-GMAW Tack Welded Material AA5083H116

Kurniawan, Henry.<sup>1</sup>, Mudjjana<sup>2</sup>, Rahman, M.B.N.<sup>3</sup>

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

<sup>2</sup>Dept. of Mechanical and Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Gadjah Mada  
henrykurniawan.hk@gmail.com

---

## Abstract

The process of welding using Gas Metal Arc Welding (GMAW) has been developed so that the productivity of welding is increased. Types of welding used one of them use welding GMAW tandem (T-GMAW) tack weld. The purpose of this study is to investigate the influence of the distance between the welding electrodes against the distortion and mechanical properties of the material AA 5083 H116 welded T-GMAW.

This study uses Aluminum AA 5083 H116 with a thickness of 3 mm and welding of T-GMAW tack weld using distance between the electrodes 18 mm, 27 mm, and 36 mm. After the welding process, the testing performed includes measuring the distortion, microstructure observation, the measurement value of the Vickers hardness, tensile test, and bending test.

Based on the results of testing the welding of T-GMAW tack weld shows that the specimens with variations on distance between the electrodes of 18 mm have the best value of distortion minimum (12,75 mm), tensile test (262,11 Mpa), and bending test (492,41). From the result test in this research can be concluded that increasing of distance between the electrodes 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 18 mm of distance between the electrodes in T-GMAW tack weld welding

**Keywords:** GMAW, T-GMAW, tack weld, AA 5083 H116, electrodes, distortion, microstructure, hardness test, tensile test, bending test

---

## 1. PENDAHULUAN

Dunia industri saat ini pada logam paduan aluminium sudah mulai diper-timbangkan penggunaannya sebagai bahan utama dalam proses produksi. Paduan aluminium juga sudah mulai digunakan industri perkapalan untuk pembuatan kapal. Jenis paduan aluminium yang cocok digunakan dalam proses pembuatan kapal adalah aluminium dengan seri AA 5083 H116. Material tersebut dipilih karena mem-punyai ketahanan terhadap korosi yang tinggi dibandingkan dengan aluminium yang lain. Dalam proses pembuatan kapal diperlukan teknologi pengelasan untuk menyatukan komponen-komponen kapal. Salah satu metode pengelasan yang digunakan untuk proses penyam-bungan komponen kapal adalah *gas metal arc welding* (GMAW) atau las *metal inert gas* (MIG). Keunggulan dari las GMAW yaitu

dapat digunakan untuk mengelas dengan kecepatan tinggi, pembersihan lapisan oksida yang baik pada saat proses pengelasan, HAZ (*Heat Affected Zone*) yang lebih kecil daripada las GTAW (*Gas Tungsten Inert Welding*), dan dapat digunakan untuk semua posisi pengelasan. Selain itu, kekurangannya yaitu cacat las porosity. Berbagai cara pengelasan GMAW dikembangkan untuk meningkatkan hasil pengelasan antara lain las T-GMAW adalah metode yang paling baik untuk meningkatkan produktivitas pengelasan (Goecke, 2001). Penelitian ini dilakukan untuk menganalisa sifat fisis, sifat mekanis, dan distorsi dari dua buah aluminium paduan AA 5083 H116 yang disambung dengan pengelasan T-GMAW tack weld terhadap variasi jarak antara elektroda.

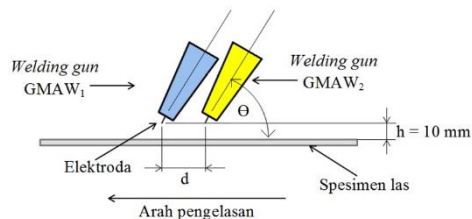
## 2. METODOLOGI PENELITIAN

### 2.1 Parameter Pengelasan

Untuk mendapatkan data hasil percobaan yang konsisten dalam penelitian ini digunakan semi-automatic T-GMAW dengan elektroda ER 5356. Dua pelat AA5083 dengan dimensi 300 mm x 75 mm x 3 mm. Pengelasan dilakukan menggunakan tipe sambungan butt joint dengan 2 alat las GMAW dengan merek *Tenjima* MIG-200S dan gas pelindung Argon. Detail parameter pengelasan dapat dilihat pada tabel 1. dan gambar 1

Tabel 1 Parameter pengelasan

Parameter	GMA W <sub>1</sub>	GMA W <sub>2</sub>
Jarak antar elektroda (d), mm	18, 27, 36	
Jarak antar elektroda (mm)	10	10
Kecepatan pengelasan (mm/s)	16	16
Sudut pengelasan	80°	80°
Tegangan las rata-rata (V)	19 V	19 V
Arus las rata-rata (A)	125	120
Filler rate (mm/s)	27	27
Filler diameter (mm)	0,8	0,8
Argon flow (lpm)	15	15



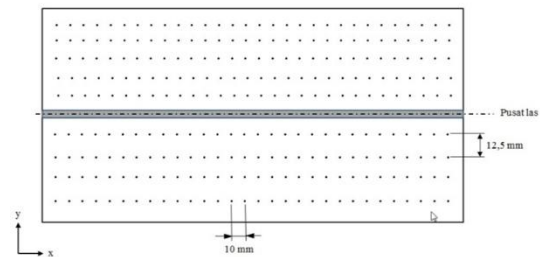
Gambar 1 Skema pengelasan T-GMAW

### 2.2 Distortion Pattern

Pengukuran distorsi menggunakan dial indikator yang berfungsi untuk mengetahui deformasi dari hasil sambungan las T-GMAW tack weld. Pengukuran distorsi menggunakan *dial indikator* dengan mengukur perbedaan ketinggian pada tiap-tiap titik permukaan spesimen las. Permukaan spesimen dijadikan sebagai sumbu x-y dan untuk sumbu z ditunjukkan pada *dial indikator*. Hasil pengukuran sumbu x-y-z kemudian dikonversi menjadi grafik 3D

*surface plot*. Pengukuran ini menggunakan alat bantu mesin *milling* dengan meletakkan spesimen pada meja *milling* dan *magnetic base dial indikator* ditempelkan sesuai kebutuhan. Pemberian tanda bertujuan supaya hasil titik distorsi didapat lebih presisi dan dilakukan pada seluruh permukaan spesimen las.

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 ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Pemberian tanda hasil las

### 2.3 Pengamatan Struktur Mikro

Struktur mikro bertujuan untuk menganalisa sifat material sambungan, perubahan bentuk struktur mikro, dan perubahan fasa spesimen uji yang dipengaruhi oleh masukan panas pengelasan. Pengamatan dilakukan dengan perbesaran 100x kemudian mengambil gambar pada bagian *Weld metal* (WM), *Heat Affected Zone* (HAZ), dan *Base metal* (BM)

### 2.4 Pengujian Kekerasan Mikro Vickers

Pengujian kekerasan untuk benda uji berbahan dasar metal dengan menggunakan jenis uji kekerasan *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).

$$d = (d_1 + d_2) / 2 \tag{1}$$

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

VHN = *Vickers Hardness Number* (kg/mm<sup>2</sup>)

P = beban yang diterapkan (kg)

d1 = diameter pijakan 1

d<sub>2</sub> = diameter pijakan 2  
 d = panjang diagonal rata-rata (mm)  
 θ = sudut antara permukaan intan yang berlawanan = 136°



Gambar 3 Spesimen uji kekerasan dan uji struktur mikro

### 2.5 Pengujian Tarik

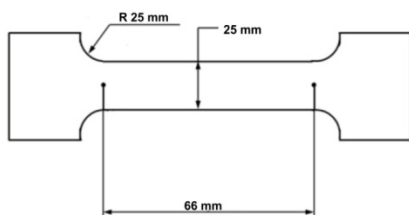
Pengujian tarik merupakan proses pengujian yang dilakukan untuk mengetahui nilai kekuatan tarik, kekuatan luluh, regangan, dan karakter patahan apakah ulet (ductile) atau getas (brittle) dari suatu bahan terhadap beban tarik. Untuk mengetahui tegangan dan regangan pada benda uji digunakan persamaan sebagai berikut :

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

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

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

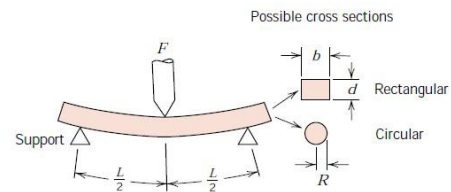
ε = Regangan (%)  
 ΔL = Selisih panjang ukur sebelum dan sesudah patah (mm)  
 L<sub>0</sub> = Panjang ukur mula-mula (mm)



Gambar 4 Spesimen uji tarik Standar ASTM E8,

### 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 5.



Gambar 5 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<sub>b</sub> = Tegangan bending (MPa)  
 P = Beban (N)  
 L = Panjang Span (mm)  
 b = Lebar (mm)  
 d = Tebal (mm)



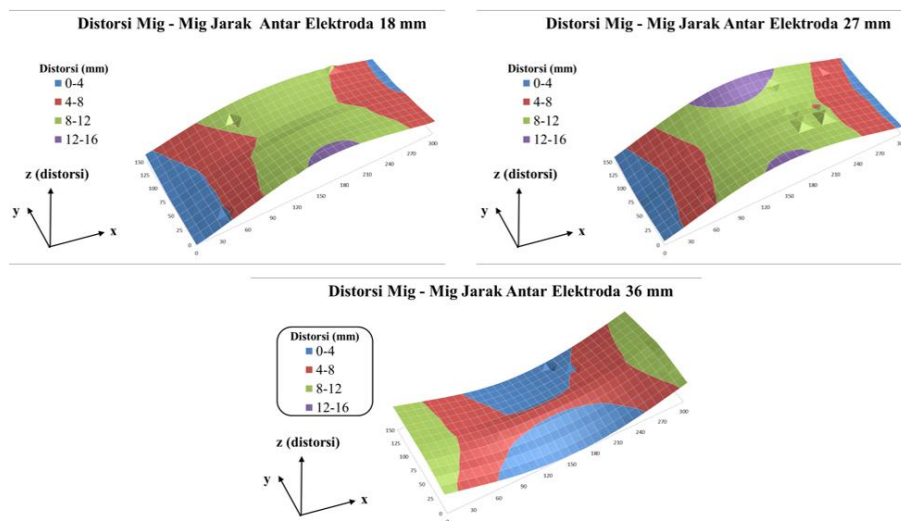
Gambar 6 Spesimen uji bending (ASTM E190)

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 HASIL PENGUKURAN DISTORSI

Pengukuran distorsi merupakan pergeseran atau perubahan bentuk (deformasi) dari benda lasan akibat penyusutan yang terjadi setelah proses pengelasan. Deformasi yang terjadi lalu dibandingkan pada tiap variasi pengelasan. Hasil dari pengukuran distorsi ditunjukkan oleh Gambar 7.

Berdasarkan Gambar distorsi paling kecil terjadi pada spesimen dengan d = 18 mm sebesar 12,75 mm lalu spesimen d = 27. Distorsi pengelasan disebabkan karena masukan panas dan penahan spesimen pada saat proses pengelasan berlangsung (Wiryo Sumarto, 2000). Bentuk distorsi yang terjadi pada spesimen dengan d = 36 mm mengindikasikan bahwa terjadi

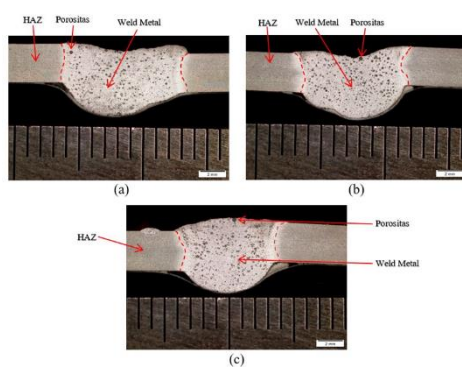


Gambar 7 Distorsi pada spesimen hasil las

kesalahan tack weld dimana saat pengelasan berlangsung tack weld pada bagian ujung pecah.

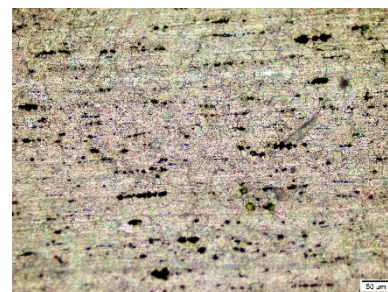
### 3.2 Hasil Pengamatan Makro & Mikro

Pengamatan struktur mikro menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 200X dan untuk struktur makro dengan perbesaran 15X. Pengamatan struktur mikro dilakukan di 3 daerah yang berbeda yaitu *base material* (BM), *Heat affected zone* (HAZ), dan *weld metal* (WM) seperti ditunjukkan pada Gambar 8.



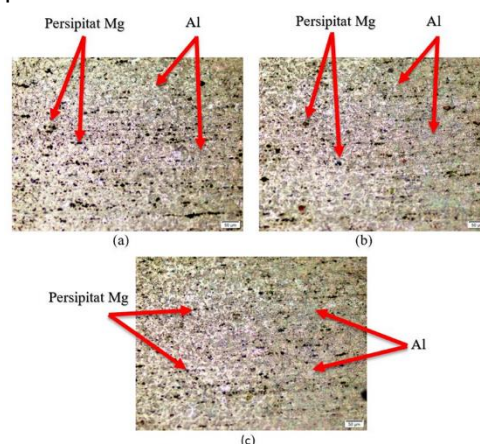
Gambar 8 Hasil Foto Makro Sambungan Las T-GMAW

Gambar 9 menunjukkan struktur mikro daerah *base material* (BM) berbentuk butir cenderung pipih dan memanjang halus. Hal tersebut diakibatkan dari proses *roll* saat proses pembuatan material. Sifat mekanis untuk *base material* tidak terpengaruh oleh panas yang ditimbulkan dari proses pengelasan

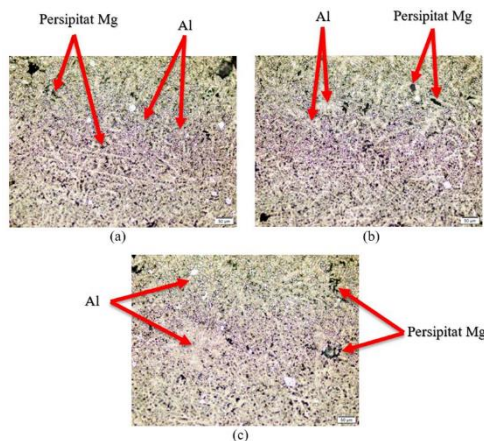


Gambar 9 Foto struktur mikro pada daerah base material (BM)

Butir pada daerah HAZ mengalami perubahan bentuk dan ukuran menjadi lebih besar dibandingkan daerah *base material* ditunjukkan pada Gambar 10. Daerah HAZ banyak terjadi proses presipitasi yang ditandai dengan terlihatnya butiran-butiran kasar dan pertumbuhan butir karena pengaruh panas dari las.



Gambar 10 Foto struktur mikro pada daerah Haz spesimen dengan (a)  $d = 18$  mm, (b)  $d = 27$  mm, (c)  $d = 36$  mm



Gambar 11 Foto struktur mikro pada daerah WM spesimen dengan (a) d = 18 mm, (b) d = 27 mm, (c) d = 36 mm

Pengamatan struktur mikro daerah logam las (*weld metal*) pada Gambar 11 akan mengalami pembekuan dan terdapat butiran-butiran kecil yang sering disebut struktur dendrit. Struktur dendrit terjadi karena adanya rekristalisasi pada suhu tinggi dan butir-butir tersebut kehilangan orientasi kristal. Hasil pengamatan untuk ukuran butir yang dihasilkan pada daerah *weld metal* spesimen dengan d = 18 mm paling banyak dan kecil dibandingkan dengan spesimen lain. Sedangkan spesimen dengan d = 27 mm dan spesimen dengan d = 36 mm terdapat banyak porositas.

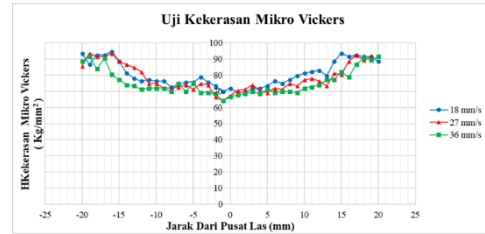
### 3.3 Uji Kekerasan

Berdasarkan hasil uji kekerasan bahwa pada bagian *base metal* nilai kekerasan yang diperoleh dari pengujian menunjukkan nilai yang hampir sama

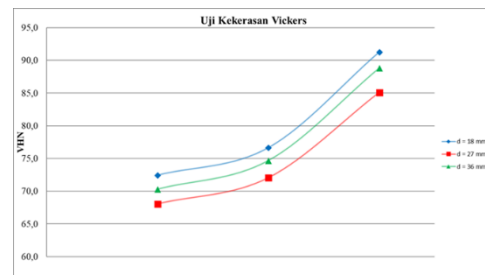
Tabel 2 Nilai kekerasan Vickers rata-rata

Spesimen	Nilai kekerasan Vickers rata-rata (VHN)			
	WM	HAZ	BM	Semua bagian
d=18 mm	72,5 ±	76,7 ±	91,3 ±	80,75 ±
d=27 mm	68,1 ±	72,1 ±	85,1 ±	75,98 ±
d=36 mm	70,3 ±	74,7 ±	88,9 ±	78,58 ±

pada ketiga spesimen. Nilai kekerasan dibagian HAZ pada ketiga spesimen lebih rendah daripada nilai kekerasan bagian base metal. Hal tersebut disebabkan karena terbentuknya



Gambar 12 Perbandingan nilai kekerasan mikro Vickers

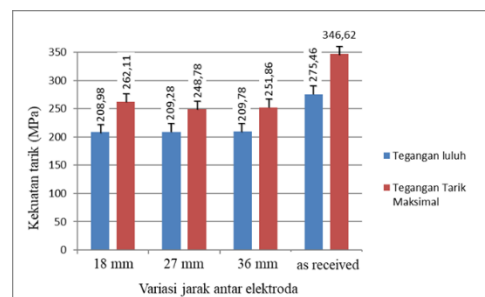


Gambar 13 Perbandingan VHN rata-rata pada daerah weld metal (WM), heat affected zone (HAZ) dan base metal (BM)

presipitat dan berubahnya bentuk butir. 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). Nilai kekerasan rata-rata tertinggi pada spesimen dengan d = 18 mm sebesar 72,5 VHN, kemudian diikuti spesimen dengan d = 36 mm sebesar 70,3 VHN, dan spesimen dengan d = 27 mm memiliki nilai terendah sebesar 68,1 VHN.

### 3.4 Hasil Uji Tarik

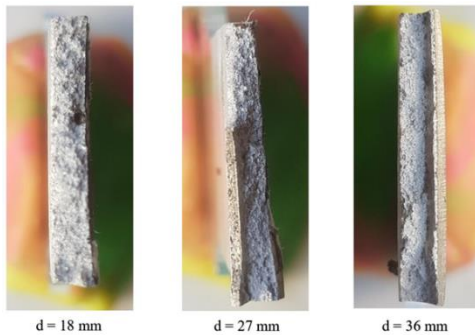
Pengujian tarik bertujuan untuk mencari nilai kekuatan tarik maksimal dan luluh dari spesimen yang telah diuji. Hasil dari pengujian tarik ditunjukkan dengan grafik pada Gambar 14.



Gambar 14 Grafik hasil uji tarik

Berdasarkan data uji tarik untuk spesimen dengan d = 18 mm memiliki

nilai terbesar. Sedangkan spesimen dengan  $d = 27$  mm memiliki nilai terendah dibanding dengan spesimen lain. Jika dilihat dari grafik Gambar 4.13 spesimen dengan  $d = 27$  mm dan spesimen dengan  $d = 36$  mm tidak terlalu jauh perbedaan nilai kekuatan luluh dan kekuatan tarik maksimal dikarenakan spesimen dengan  $d = 36$  mengalami pecah tack weld pada proses pengelasan. Pengelasan T-GMAW tack weld spesimen dengan  $d = 18$  mm,  $d = 27$  mm dan  $d = 36$  mm menghasilkan sambungan las yang bersifat ulet yang ditandai dengan adanya *necking* pada bekas patahan uji tarik. Spesimen setelah diuji tarik ditunjukkan pada Gambar 15 terdapat *necking* yang

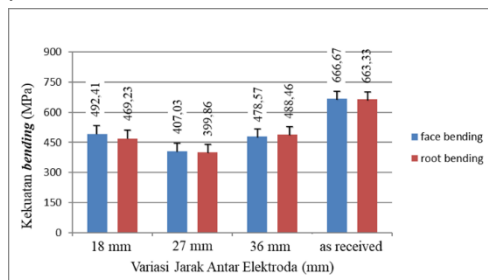


Gambar 15 Foto makro patahan setelah diuji tarik

terlihat pada bekas patahan. Berdasarkan gambar tersebut terlihat juga bahwa patahan yang dihasilkan pada las T-GMAW tack weld semua terletak pada bagian weld metal yang disebabkan karena weld metal adalah bagian yang paling lunak. Patahan yang dihasilkan oleh las T-GMAW tack weld terletak pada daerah weld metal,

### 3.5 Hasil Bending

Pengujian *bending* dilakukan dengan 2 metode pengujian yaitu uji *face bending* dan uji *root bending*. Hasil dari pengujian *bending* ditunjukkan grafik pada Gambar 16.



Gambar 16 Grafik hasil uji bending

Hasil pembacaan grafik pada Gambar 16 dapat terlihat bahwa pada pengujian metode *Face Bend* memiliki nilai kekuatan *bending* tertinggi didapatkan pada spesimen dengan  $d = 18$  mm. Kekuatan *bending* dilihat dari grafik bahwa dengan metode *Face Bend* cenderung lebih besar daripada kekuatan *bending* dengan metode *Root Bend*. Namun pengecualian terjadi pada spesimen dengan  $d = 36$  mm dimana kekuatan dengan metode *Root Bend* lebih besar. Standar deviasi yang tinggi pada spesimen dengan  $d = 36$  mm saat pengujian metode *Root Bend* mengindikasikan adanya cacat pada spesimen uji.

### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian pada sambungan las T-GMAW tack weld dengan variasi jarak antar elektroda sebesar 18 mm ( $d = 18$  mm), 27 mm ( $d = 27$  mm), dan 36 mm ( $d = 36$  mm) maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengaruh jarak antar elektroda terhadap distorsi pada las T-GMAW tack weld dalam kisaran 18 mm sampai 36 mm, semakin besar jarak antar elektroda las maka semakin besar pula distorsi pada spesimen las. Distorsi yang terkecil pada spesimen dengan  $d = 18$  mm sebesar 12,75 mm.
2. Pengaruh jarak antar elektroda terhadap sifat fisis dan mekanis pada las T-GMAW tack weld tidak terlalu berpengaruh signifikan. Jarak antar elektroda las yang lebih kecil akan menghasilkan sifat fisis dan mekanis yang lebih optimal pada logam las. Spesimen dengan  $d = 18$  mm mempunyai sifat fisis dan mekanis lebih baik dari spesimen yang lainnya.

### 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 Rela, Ekak, Arif, Isnain, Henry, dan Yasin selaku rekan penelitian.

## DAFTAR PUSTAKA

- 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., 2010. Material Science and Engineering: An Introduction, 8th ed. John Wiley & Sons, USA.
- 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.
- 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.
- Mandal, N.R., 2005. Aluminium Welding, 2nd ed. Narosa Publishing House Pvt Ltd, India.
- 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, 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.
- 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.
- 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
- 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.



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

Suryandana, A.P, 2017, Pengaruh Jarak Antar Elektroda Terhadap Distorsi dan Sifat Mekanis pada Sambungan Las GMAW Tandem Bahan Aluminium AA 5083 H116. Skripsi S1, Universitas Gadjah Mada.

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.

Wiryo Sumarto, 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.