

PENGARUH KECEPATAN PENGELASAN GMAW DOUBLE LAYER BAHAN ALUMINIUM ALLOY 5052 TERHADAP SIFAT MEKANIS DAN FISIS

Rohmad Ario Febrianto^a, Mudjijana^b, Rela Adi Himarosa^c

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
 Jalan Lingkar Selatan Tamantirto, Kasihan, Bantul, DI Yogyakarta, Indonesia, 55183
^arohmad.ario@gmail.com, ^bmudjijana@ugm.ac.id, ^crela.himarosa@gmail.com

Abstrak

Perkembangan yang semakin canggih tidaklah lepas dari pentingnya peranan material logam. Material logam merupakan bahan yang banyak digunakan dalam proses manufaktur, terutama di perindustrian seperti jembatan, bangunan, perpipaan, otomotif, perkapalan dan bahkan digunakan untuk body pesawat terbang. Tujuan penelitian ini untuk menyelidiki pengaruh kecepatan pengelasan terhadap distorsi, sifat mekanis dan sifat fisis dengan bahan aluminium paduan 5052 menggunakan las GMAW.

Plat aluminium berukuran 400 mm x 150 mm x 3 mm dilas MIG menggunakan metode las *double layer* dengan variasi kecepatan 6, 7, 8 mm/s dan dengan diameter *filler* 0,8 mm. Pengelasan menggunakan arus 130 A, tegangan 23 V, dan aliran argon 17 liter/menit. Hasil pengelasan di uji distorsi, kekerasan mikro Vickers, tarik, dampak, dan struktur mikro.

Hasil penelitian menunjukkan las MIG *double layer* kondisi terbaik distorsi pada kecepatan 8 mm/s. Nilai kekuatan tarik dan dampak yang paling besar pada variasi kecepatan 8 mm/s dengan nilai uji tarik 168,18 Mpa dan uji dampak 0,36 J/mm². Nilai kekerasan yang terbesar juga pada kecepatan 8 mm/s dengan nilai pada *weld metal* 62,78 VHN.

Kata Kunci : GMAW *double layer*, AA 5052, kecepatan, distorsi, Vickers, uji tarik, uji dampak, struktur mikro.

Abstrack

Increasingly sophisticated developments cannot be separated from the importance of the role of metal materials. Metal material is a material that is widely used in manufacturing processes, especially in industries such as bridges, buildings, piping, automotive, shipping and even used for aircraft bodies. The purpose of this study was to investigate the effect of welding speed on distortion, mechanical properties and physical properties with aluminum alloy 5052 using GMAW welding.

Aluminum plate measuring 400 mm x 150 mm x 3 mm welded MIG uses a double layer welding method with variations in speed of 6, 7, 8 mm / s and with a filler diameter of 0.8 mm. Welding uses 130 A current, voltage 23 V, and argon flow 17 liters / minute. Welding results in the distorsi test, Vickers micro hardness, tensile, impact, and microstructure.

The results showed that MIG welding had the best layer distortion at a speed of 8 mm / s. The greatest value of tensile and impact strength at a speed variation of 8 mm / s with tensile test value of 168.18 Mpa and impact unity of 0.36 J / mm². The greatest hardness value was also at the speed of 8 mm / s with the value of the weld metal 62.78 VHN.

Keywords : GMAW double layer , AA 5052, speed, distortion, Vickers, tensile test, impact test, microstructure.

1. Pendahuluan

Perkembangan yang semakin canggih tidaklah lepas dari pentingnya peranan material logam. Material logam merupakan bahan yang banyak digunakan dalam proses manufaktur, terutama di perindustrian seperti jembatan, bangunan, perpipaan, otomotif, perkapalan dan bahkan digunakan untuk body pesawat terbang. Salah satu Proses manufaktur adalah sistem pengelasan, las merupakan teknik penyambungan logam melalui pemanasan lokal sampai titik leleh dengan atau tanpa tekanan dan dengan atau tanpa logam pengisi (AWS, 2010). Industri kedirgantaraan merupakan salah satu pengguna aluminium sebagai bahan body pesawat (*fuselage*). Salah satu aluminium yang dipakai adalah Aluminium Alloy 5052. Pada umumnya penyambungan aluminium dilakukan dengan menggunakan *gas metal arc welding* (GMAW). *gas metal arc welding* adalah proses menggunakan antara busur las elektroda yang tertutup dan kolam las untuk penyelesaian las (AWS, 2004).

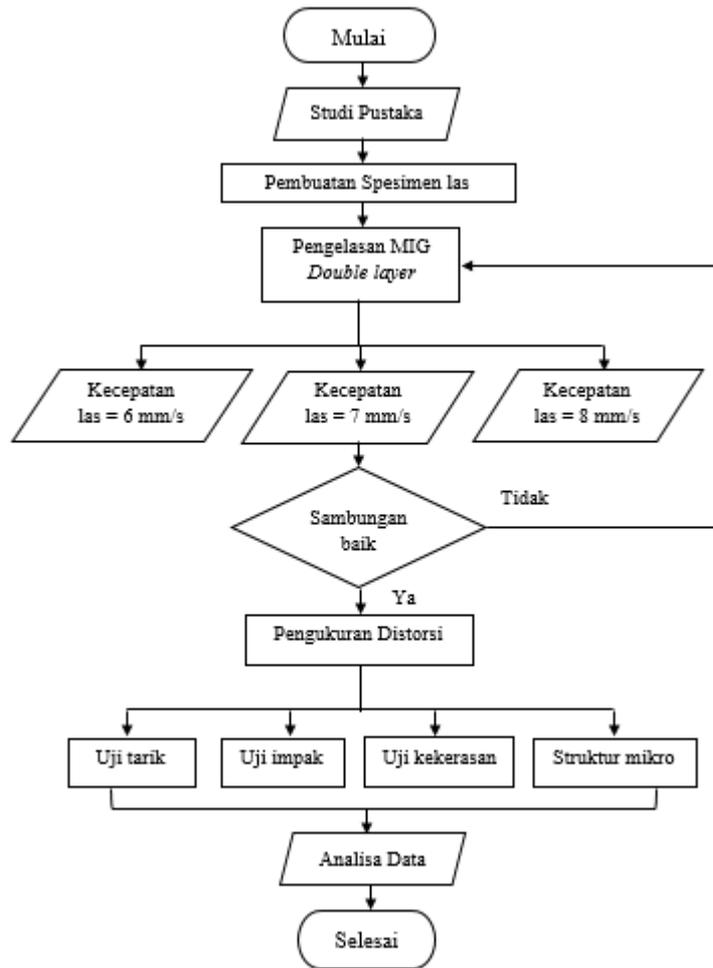
Las GMAW dapat digunakan untuk mengelas dengan kecepatan tinggi, pembersihan lapisan oksida yang baik pada saat proses pengelasan, HAZ (*Heat Affected Zone*) yang lebih kecil dan dapat digunakan untuk semua posisi pengelasan. Selain itu, kekurangannya yaitu cacat las porositas atau lubang-lubang kecil sering terjadi akibat penggunaan gas pelindung yang kualitasnya tidak baik. Berbagai cara pengelasan GMAW dikembangkan untuk meningkatkan hasil pengelasan, antara lain penggantian komposisi gas pelindung maupun elektroda, dan pengontrolan aliran arus las. (Goecke, 2001). 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).

Mudjijana dkk (2018) melakukan penelitian mengenai sifat mekanis dan fisis dengan pengelasan *semi-automatic MIG welding*. Pengelasan ini menggunakan bahan AA5083H16 berukuran 300 mm x 75 mm x 3 mm dengan tegangan 19V, arus 120A, kecepatan las 8, 10, 12 mm/s, *filler rate* 27 mm/s dan pengatur kecepatan las menggunakan mesin CNC. Pada penelitian dilakukan beberapa pengujian, diantaranya adalah siklus termal, distorsi 3 dimensi, kekerasan mikro *Vickers*, kekuatan tarik, kekuatan bending, *Scanning electron microscope* (SEM) dan *Energy dispersive spectrometer* (EDS). Proses pengujian ini menunjukkan suhu dan distorsi pada kecepatan las 8 mm/s lebih besar dibandingkan dengan kecepatan 10,12 mm/s, untuk pengujian kekerasan mikro *Vickers* dan kekuatan tarik kecepatan las 8 mm/s mempunyai nilai yang lebih baik dibandingkan dengan kecepatan 10,12 mm/s. Hasil penelitian ini sangat berguna sebagai referensi serta acuan pada pengelasan MIG khususnya pada plat dengan ketebalan tipis.

Sirisatien dkk (2018) melakukan penelitian tentang pengaruh proses pengelasan *one-side one-pass* dan menganalisis defleksi distorsi dengan plat ASTM A131 grade A. Penelitian ini menggunakan ukuran tebal 10 mm, lebar 150 mm, panjang 300 mm dengan variasi *single-V* 30° dan *square butt*. Pada proses pengujian ini nilai distorsi pengelasan dengan menggunakan *single-V* 30° lebih besar dibandingkan dengan *square but* dan nilai temperatur pada saat pengelasan *square but* lebih kecil daripada *single-V* 30°. Hasil penelitian ini sangat berguna sebagai referensi serta acuan pada pengelasan MIG khususnya pada pengujian distorsi.

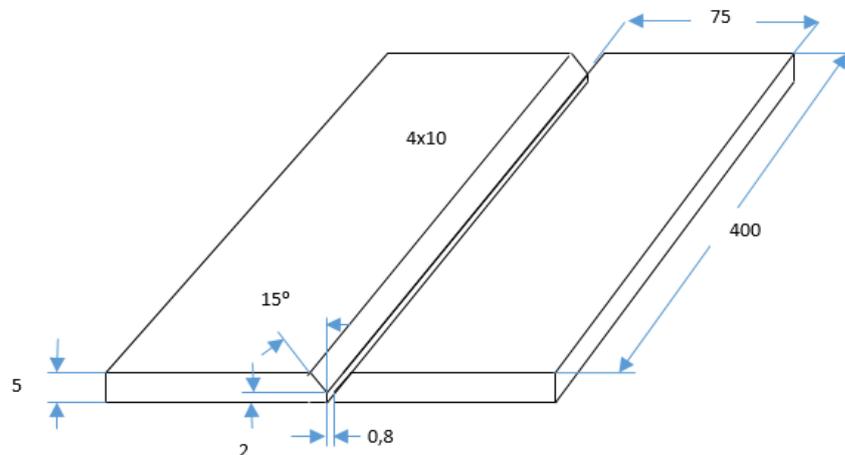
Zhang dkk (2011) melakukan penelitian untuk menganalisis struktur mikro dan sifat mekanis material *aluminium alloy* 5052 dengan cara pengelasan double side MIG. Pada pengelasan ini menggunakan material dengan tebal 3 mm, sudut *torch* 90° dengan variasi jarak *torch* 8 mm dan 5 mm. *Filler* untuk mengelas menggunakan ER4043 dengan diameter 0,8 mm. Penelitian ini didapatkan hasil kekuatan tarik mencapai 148 Mpa, melebihi 70% kekuatan tarik paduan *aluminium alloy* 5052 itu sendiri. Pengujian struktur mikro pada pengelasan ini menggunakan perbesaran 100 µm, hasil memperlihatkan daerah *weld metal*, *base metal*, dan Heat affected zone (HAZ). Batas butir pada daerah HAZ lebih kecil dibandingkan dengan *base metal*, dan pada *weld metal* lebih besar dibandingkan dengan *base metal*. Pada *weld metal* didapatkan cacat las, yaitu porositas. Hasil penelitian ini sangat berguna sebagai referensi serta acuan pada pengelasan MIG khususnya pada pengujian struktur mikro.

2. Metode Penelitian.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Parameter yang digunakan pada penelitian ini yaitu variasi kecepatan pengelasan 6 mm/s, 7 mm/s, 8 mm/s dengan material aluminium alloy seri 5052 berukuran 400 x 75 x 5 mm, kuat arus 130 A, tegangan 23 V, sudut *torch* 90°, jarak *torch* dari permukaan las 10 mm, *filler rod* menggunakan ER 5356 diameter 0,8 mm. Pengelasan dilakukan dengan menggunakan mesin las MIG Tenjima 200S dengan cara pengelasan *double layer*. Ukuran spesimen dapat dilihat pada gambar 2 dibawah ini.



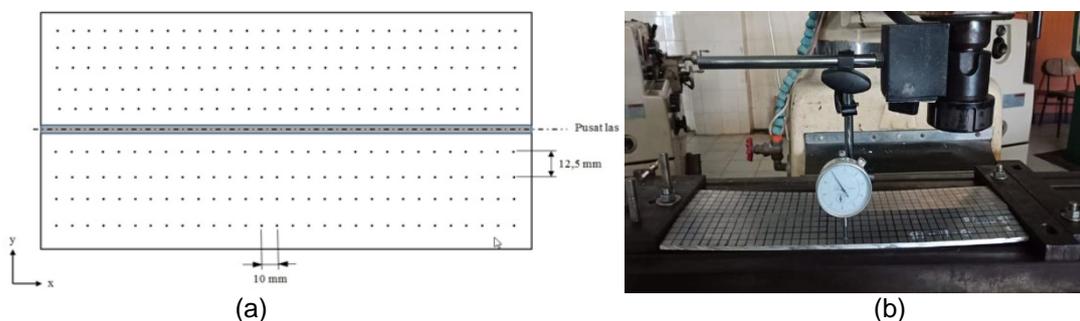
Gambar 2. Ukuran spesimen uji

Proses pengelasan dilakukan dengan mengatur kecepatan las menggunakan software CNC pada komputer terlebih dahulu. Pengelasan 2 *layer* adalah proses pengelasan yang dilakukan secara berulang sebanyak 2 kali dalam jarak dan kecepatan yang sama. Proses penyalan las dan untuk menjalankan mesin las dilakukan secara manual oleh teknisi *welder*. Setelah proses pengelasan dilakukan pengujian diantaranya adalah pengukuran distorsi, pengujian kekerasan mikro *Vickers*, tarik, impact, dan struktur mikro dan makro.

2.1. Pengukuran distorsi

Pengukuran distorsi dilakukan untuk mengetahui deformasi pada spesimen yang disebabkan akibat pemasukan panas (*heat input*) dari pengelasan las MIG *double layer*. Pengukuran dimulai dengan pemberian titik pada spesimen dengan jarak panjang 10 mm dan lebar 12,5 mm seperti pada gambar 3(a).

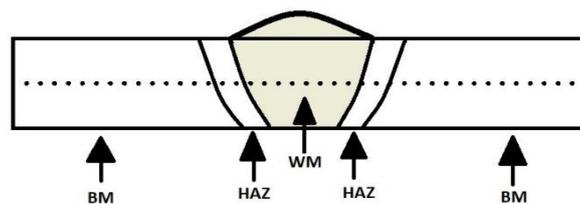
pengukuran dilakukan menggunakan alat *dial indicator* dengan ketelitian 0,01 mm dan alat bantu mesin *milling* sebagai tumpuan alat *dial indicator* dan untuk menggeser plat dari titik ke titik lainnya. , seperti yang ditunjukkan pada gambar 3(b).



Gambar 3. (a) pemberian titik pada spesimen, (b) Pengukuran distorsi

2.2. Pengujian kekerasan

Pengujian kekerasan adalah pengujian untuk mengetahui nilai dari kekerasan suatu material. Pengujian ini dilakukan pada tiga daerah yaitu logam induk, HAZ dan *weld metal*. Uji kekerasan dilakukan pada bahan uji sebanyak 40 titik dari jarak 2 mm dari permukaan base metal, beban indentasi 100 gram dengan waktu tunggu 10 detik, Jarak antar titik penetrasi indenter 1000 mikron atau 0,5 mm seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4. Skema pijakan indenter vickers

2.3. Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan dengan jumlah masing-masing 2 buah bahan uji setiap variabel. Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui nilai kekuatan luluh dan nilai kekuatan tarik maksimal pada spesimen AA 5052 dari pengelasan las MIG *double layer*. Bahan uji untuk pengujian tarik perlu dipotong sesuai dengan standar ASTM-08. Mesin pengujian tarik menggunakan mesin *control lab* dengan beban maksimal 4 ton di Laboratorium D3 Vokasi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.

2.4. Pengujian Impak

Pengujian impak dilakukan untuk mengetahui nilai kekuatan dan nilai keuletan pada spesimen pada spesimen AA 5052 dari pengelasan las MIG *double layer*. Pengujian impak ini menggunakan jenis pengujian impak *charpy*. Bahan uji untuk pengujian impak perlu adanya pemotongan spesimen sesuai dengan dengan standar ASTM E23. Mesin pengujian impak menggunakan mesin *control lab* di Laboratorium D3 Vokasi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.

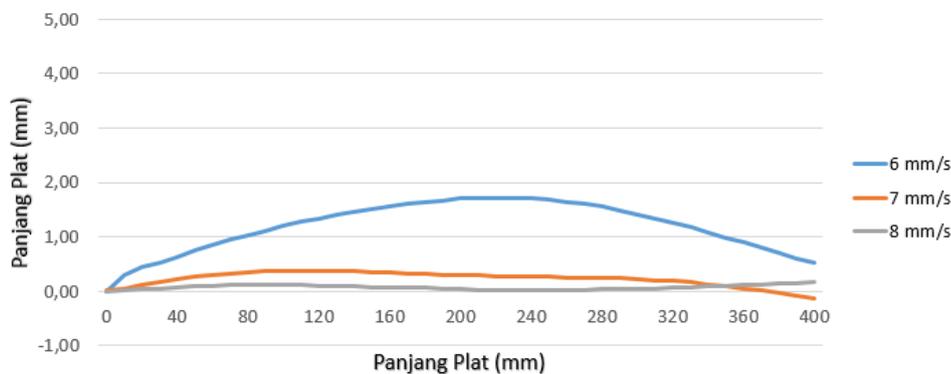
2.5. Pengujian Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro bertujuan untuk mengetahui dan menganalisa perubahan bentuk struktur mikro, perubahan fasa, dan sifat material sambungan bahan uji yang di pengaruhi oleh pemasukan panas pengelasan las MIG *double layer*. pengamatan dilakukan di 3 bagian, yaitu *Weld metal* (WM), *Heat Affected Zone* (HAZ), dan *Base metal* (BM) dengan perbesaran 100 X. Pengamatan struktur mikro dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta dengan menggunakan mikroskop optik dengan merek *Olympus BX53M*. Pengujian makro juga dilakukan untuk mengetahui cacat-cacat yang terjadi pada sambungan las. spesimen uji diperlukan pengamplasan agar mudah di amati dan diperlukan pengkorosian pada permukaan spesimen uji menggunakan cairan etsa Methanol, HCL, HNO₃, HF.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Distorsi Pengelasan

Pengukuran distorsi dilakukan untuk mengetahui hasil perbandingan distorsi hasil pengelasan pada tiap variasi kecepatan. Setiap variasi kecepatan pengelasan material AA5052 mengalami distorsi yang berbeda. Hasil dari pengukuran ditunjukkan pada Gambar 5.



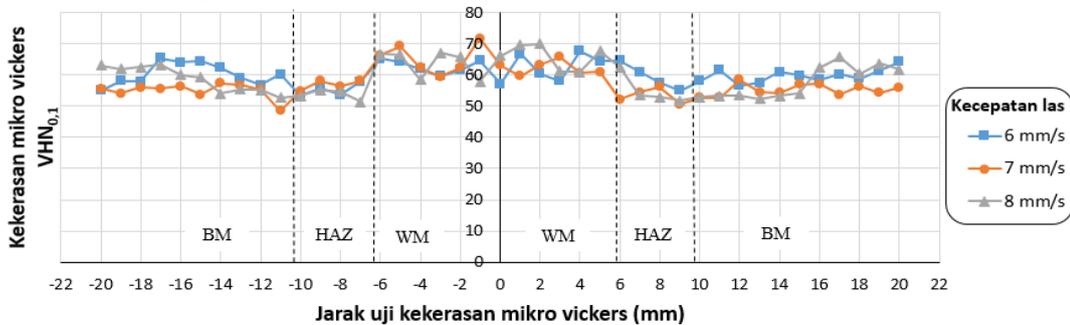
Gambar 5. Grafik rata-rata distorsi 2 dimensi las *double layer*

distorsi paling kecil adalah spesimen kecepatan 8 mm/s dengan hasil distorsi 0,17 mm dan hasil distorsi yang paling besar adalah spesimen kecepatan 6 mm/s dengan hasil distorsi 1,7 mm, diikuti spesimen kecepatan 7 mm/s dengan hasil distorsi 0,38 mm.

Distorsi pengelasan disebabkan karena masukan panas dan penahan spesimen pada saat proses pengelasan berlangsung (Wirjosumarto, 2000). Semakin lama waktu pengelasan maka masukan panas pada spesimen semakin besar, masukan panas yang paling besar terjadi pada spesimen dengan kecepatan 6 mm/s dan masukan panas yang paling kecil terjadi pada spesimen 8 mm/s. Meja pengelasan juga mempengaruhi distorsi yang terjadi karena pendinginan yang cepat menyebabkan distorsi yang cukup besar. Pada pengelasan ini menggunakan meja yang terbuat dari aluminium.

3.2. Kekerasan Vickers

Uji kekerasan adalah uji untuk mengetahui nilai kekerasan dari material, pada material aluminium alloy 5052 dengan las double layer tack weld menggunakan micro hardness vickers. Pengujian kekerasan dilakukan pada 3 daerah las, diantaranya logam induk (base metal), HAZ (Heat Affected Zone), dan logam las (Weld Metal). Hasil uji kekerasan dan grafik ditunjukkan pada gambar 6.

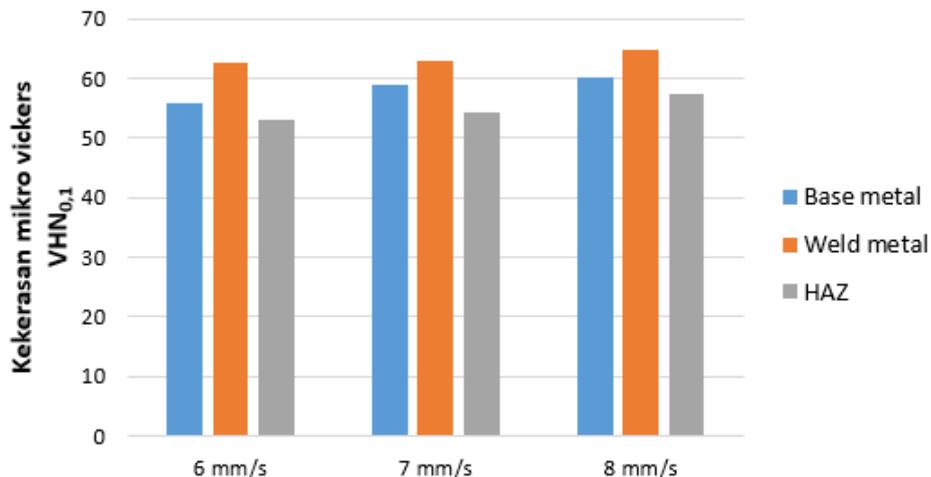


Gambar 6. Perbandingan nilai kekerasan spesimen kecepatan 6,7,8 mm/s

Hasil dari pengujian ketiga variasi kecepatan las kekerasan didapatkan pada daerah weld metal nilai kekerasannya lebih tinggi dan nilai dari kekerasan pada daerah HAZ lebih kecil dikarenakan presipitasi dari Mg₂Si. Nilai kekerasan aluminium alloy 5052 pada semua bagian nilai kekerasannya tidak beda jauh, hal itu disebabkan karena material aluminium alloy 5052 termasuk jenis aluminium non heat treatable (tidak dapat dilakukan proses perlakuan panas).

Tabel 1. Nilai kekerasan rata-rata

Kecepatan las	6 mm/s	7 mm/s	8 mm/s
Base metal (VHN _{0,1})	55,66	58,93	60,02
Weld metal (VHN _{0,1})	62,73	62,78	64,62
HAZ (VHN _{0,1})	53,10	54,21	57,31



Gambar 7. Diagram balok perbandingan nilai kekerasan rata-rata

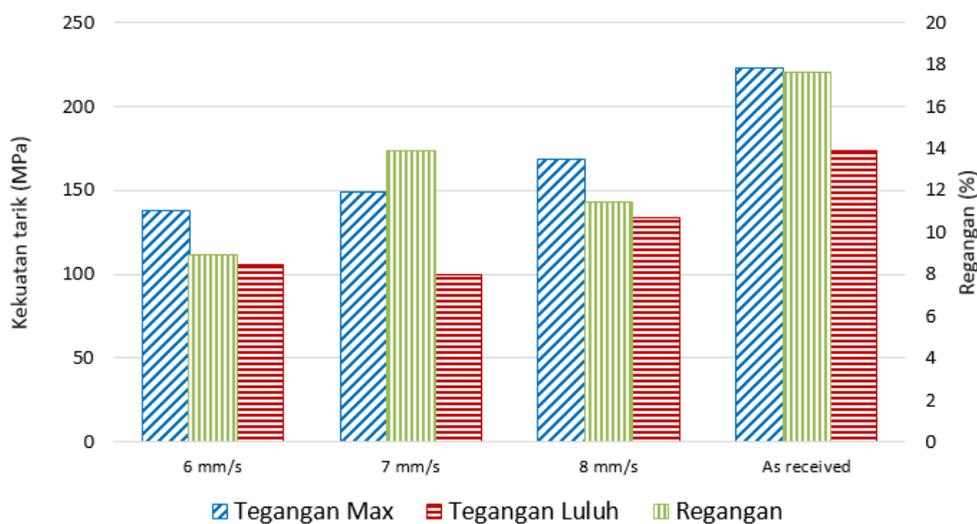
Nilai uji kekerasan pada 3 daerah pengujian paling tinggi pada weld metal variasi kecepatan 8 mm/s dengan nilai rata-rata kekerasan ±64,62 HV diikuti nilai rata-rata kekerasan kecepatan 6 mm/s dengan 7 mm/s hampir sama ±62,73 HV dan ±62,78 HV. Nilai kekerasan rata-rata paling kecil pada daerah HAZ, variasi kecepatan 6 mm/s yaitu ± 53,10 HV dilanjutkan dengan kecepatan 7 mm/s dan 8 mm/s dengan nilai ±54,21 HV dan ±57,31 HV.

3.3. Tarik

Hasil pengujian tarik didapatkan rata-rata spesimen terputus di daerah HAZ dan base metal, dan daerah *weld metal* hasil pengelasan yang baik sehingga tidak putus pada pengelasannya. Hal ini berbanding lurus dengan hasil nilai kekerasan yang pada daerah HAZ yang memiliki nilai kekerasan yang kecil. Seperti pada tabel 2 dan gambar 8.

Tabel 2. Nilai kekuatan tarik

Variasi	Tegangan Max (Mpa)	Tegangan Luluh (Mpa)	Regangan %
6 mm/s	138,15	105,62	8,95
7 mm/s	148,59	99,80	13,88
8 mm/s	168,18	133,34	11,43
base metal	223,15	173,79	17,63

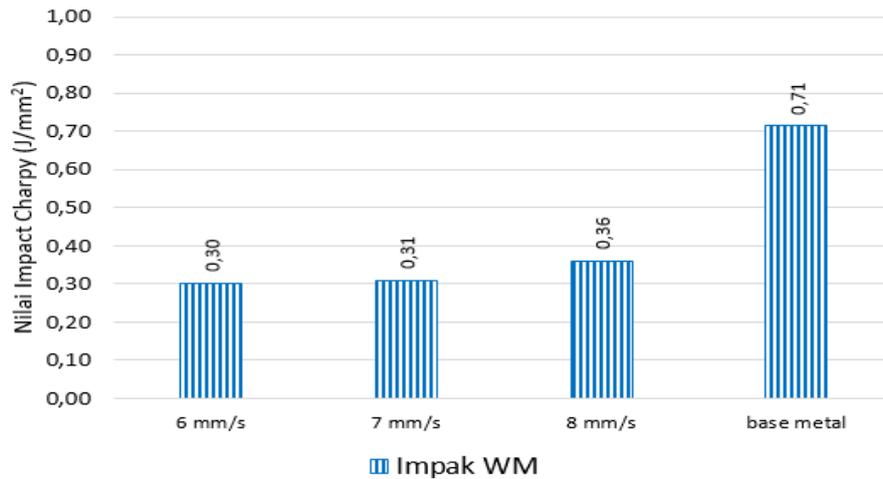


Gambar 8. Diagram balok hasil uji tarik

Hasil pengujian tarik pada base metal yaitu tegangan maksimal sebesar 223,15 MPa, tegangan luluh sebesar 173,79 MPa dengan nilai regangan patah 17,63%. Nilai kekuatan tarik yang paling besar adalah dengan variasi kecepatan 8 mm/s, kemudian 7 mm/s dan nilai kekuatan tarik yang paling kecil dengan variasi 6 mm/s. Spesimen las dengan variasi kecepatan pengelasan 8 mm/s memiliki tegangan maksimal sebesar 168,18 MPa, tegangan luluh sebesar 133,34 MPa dan nilai regangan patah 11,43%. Variasi kecepatan pengelasan 7 mm/s memiliki tegangan maksimal sebesar 148,9 MPa, tegangan luluh sebesar 99,80 MPa dan nilai regangan patah 13,88%. Kecepatan pengelasan 6 mm/s memiliki tegangan maksimal sebesar 138,15 MPa, tegangan luluh sebesar 105,62 MPa dan nilai regangan patah 8,95%. Kekuatan luluh juga di pengaruhi oleh input panas yang diterima oleh suatu material. Semakin banyak input panas yang didapat material tersebut maka kekuatan luluhnya akan semakin turun (Agustin dkk, 2011)

3.4. Impak Charpy

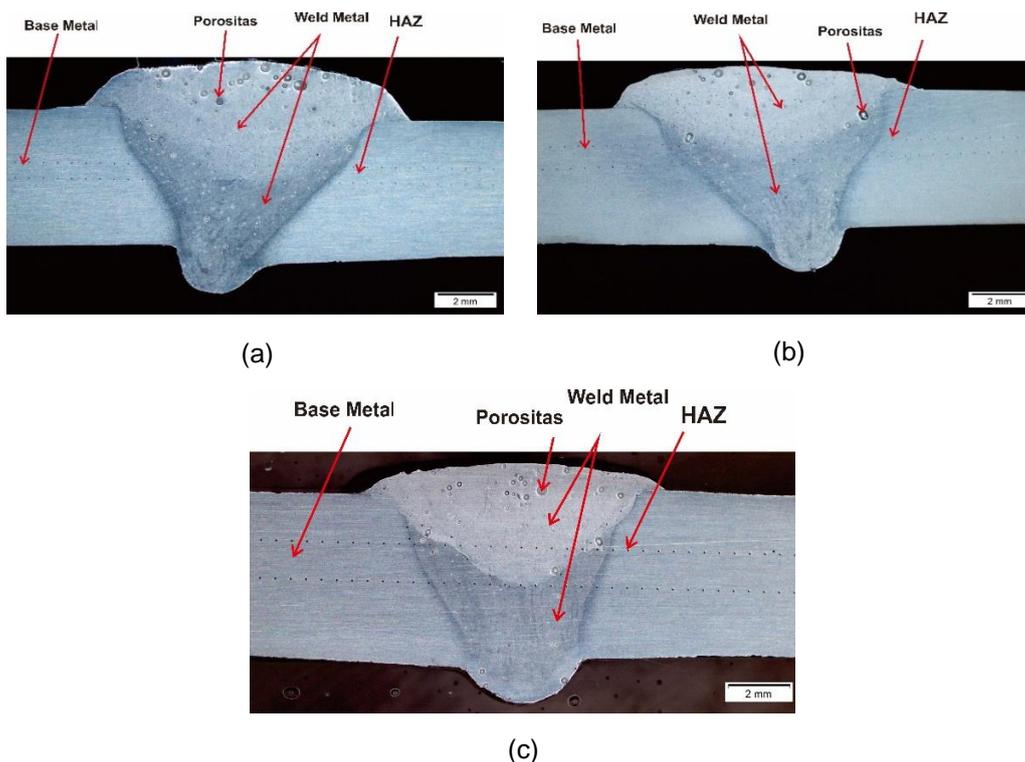
Hasil pengujian impak *charpy* digunakan untuk menentukan ketangguhan material dengan jumlah energi yang diserap, pada raw material yaitu nilai impak sebesar 0,71 J/mm². Nilai impak charpy paling tinggi pada variasi kecepatan 8 mm/s dengan nilai 0,36 J/mm² dan nilai impak charpy pada kecepatan 6 mm/s dengan 7 mm/s hampir sama yaitu 0,3 J/mm².



Gambar 9. Diagram balok hasil uji impact

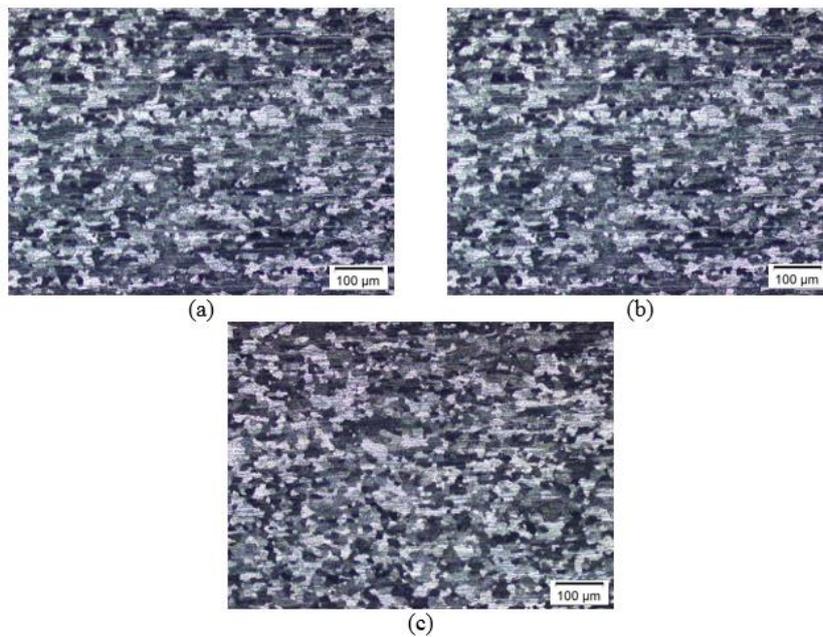
3.5. Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro adalah pengamatan metalografi untuk mengetahui penampakan khusus seperti fasa, dislokasi, dan batas butir. Pengujian menggunakan optik dengan perbesaran 200X untuk struktur mikro dan 15 X untuk pengujian struktur makro. Pengamatan dilakukan di beberapa bagian, diantaranya logam induk, HAZ (*Heat Affected Zone*), dan logam las (*Weld Metal*). Struktur makro dapat ditunjukkan pada gambar 10.



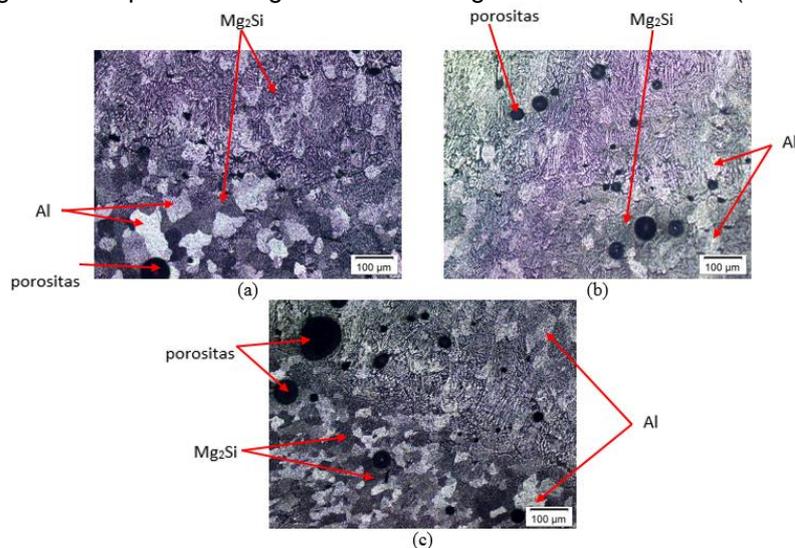
Gambar 10. Foto struktur makro las GMAW *double layer tack weld* (a) kecepatan 6 mm/s, (b) kecepatan 7 mm/s, (c) kecepatan 8 mm/s

Pengamatan struktur makro menunjukkan daerah HAZ yang terbentuk setelah pengelasan sangat kecil, dengan ukuran 1 - 3 mm. Setiap spesimen terlihat dua layer yang berbeda dikarenakan pengelasan yang berulang. Porositas juga terjadi pada setiap spesimen dikarenakan proses terjebakny udara atau terkontaminasinya material induk sehingga dapat menimbulkan pori-pori (Aljufri dan Putra 2018). struktur mikro dilihat pada gambar 11 - 13.



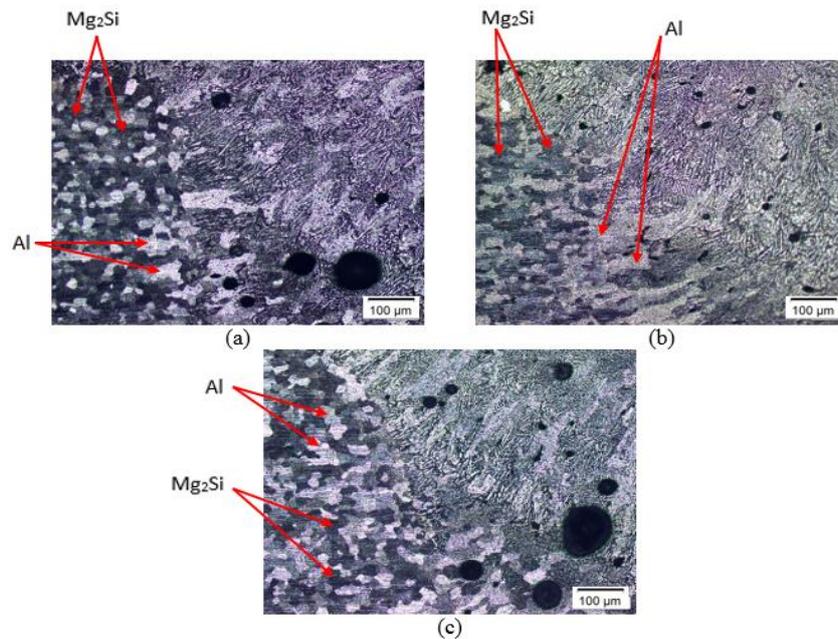
Gambar 11. Foto struktur mikro pada *base metal* (a) kecepatan 6 mm/s, (b) kecepatan 7 mm/s, (c) kecepatan 8 mm/s

Pengamatan pada struktur mikro pada daerah *base metal* tidak begitu menyebabkan perubahan-perubahan struktur dan sifat *aluminium alloy* 5052 yang terjadi pada saat pengelasan atau pemasukan panas. Campuran *aluminium alloy* 5052 terdiri dari $(Fe, Cr)_3SiAl_{12}$ ditandai dengan warna putih dan Mg_2Si ditandai dengan warna kehitaman (Hatch, 1984).



Gambar 12. Foto struktur mikro pada *weld metal* (a) kecepatan 6 mm/s, (b) kecepatan 7 mm/s, (c) kecepatan 8 mm/s

Hasil dari pengamatan pada *weld metal* terlihat beberapa porositas pada layer 1 dan layer 2. Pada garis penggabungan (*fusion line*) merupakan daerah pencampuran logam pengisi dengan *base metal* (Agustin dkk, 2011). *Weld metal* merupakan bagian dari logam yang pada waktu pengelasan mencair dan kemudian membeku. Pembekuan pada *weld metal* terdapat butiran-butiran halus yang disebut struktur dendrit, dikarenakan rekristalisasi pada suhu tinggi dan butir tersebut kehilangan orientasi kristal. Batas butir paling kecil terdapat pada kecepatan 8 mm/s dibandingkan dengan kecepatan 6 dan 7 mm/s yang memiliki batas butir lebih besar.



Gambar 13. Foto struktur mikro pada daerah HAZ (a) kecepatan 6 mm/s, (b) kecepatan 7 mm/s, (c) kecepatan 8 mm/s

Perbedaan perubahan struktur mikro pada daerah HAZ (*heat affected zone*) yang terbentuk dikarenakan adanya proses pengelasan yang berulang dan pemasukan panas pengelasan. Pemanasan ini menyebabkan batas butir semakin besar, yang menyebabkan ketangguhan *aluminium alloy 5052* menurun. Nilai ketangguhan *aluminium alloy 5052* dipengaruhi oleh faktor jumlah pendispersian dan presipitasi dari Magnesium Silikat (Mg_2Si), Apabila presipitasi dari Mg_2Si banyak maka ketangguhan dari *aluminium alloy 5052* ini juga menurun. Hal ini dikarenakan unsur Silikon yang terdapat pada bahan akan menurunkan sifat keuletan bahan tersebut. (Agustin dkk, 2011)

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian serta pengujian pengelasan GMAW *double layer* dengan variasi kecepatan las 6 mm/s, 7 mm/s, dan 8 mm/s, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Nilai distorsi yang tinggi dipengaruhi oleh kecepatan las dan pemasukan panas. Semakin lama kecepatan las maka masukan panas akan lebih besar dan begitu sebaliknya, semakin cepat kecepatan las maka masukan panas lebih rendah. Distorsi terbesar pada variasi kecepatan 6 mm/s dan distorsi terendah pada variasi kecepatan 8 mm/s.
2. Berdasarkan hasil uji kekerasan mikro *Vickers* nilai kekerasan yang paling tinggi pada daerah *weld metal* dan nilai kekerasan terendah pada daerah HAZ dikarenakan presipitasi dari Mg_2Si . Nilai kekerasan tertinggi pada variasi kecepatan 8 mm/s dan nilai kekerasan terendah pada variasi kecepatan 6 mm/s.
3. Hasil uji tarik menunjukkan bahwa nilai pada variasi kecepatan las 8 mm/s adalah yang paling baik dengan nilai tegangan maksimum 168,18 MPa, tegangan luluh 133,34 MPa dan regangan patah 11,43%.
4. Hasil uji impak menunjukkan bahwa jumlah energi yang diserap yang paling baik pada variasi kecepatan las 8 mm/s sebesar 0,36 J/mm².
5. Struktur mikro menunjukkan pada daerah *base metal* tidak begitu menyebabkan perubahan-perubahan struktur. Pembekuan pada *weld metal* terdapat butiran-butiran halus yang membuat spesimen lebih keras dan Silikon yang terdapat pada bahan akan menurunkan sifat keuletan bahan.

Dari hasil penelitian yang sudah dilakukan penulis menyarankan agar dilakukan penelitian lebih lanjut dengan variasi kecepatan yang banyak agar mendapatkan hasil yang lebih maksimal.

Daftar Pustaka

Journal:

- [1] Agustin, R., Agung K, B., & Rochiem, R. (2011). Analisis pengaruh hasil pengelasan ulang menggunakan metode gas tungsten arc welding terhadap sifat mekanik dan ketahanan korosi aluminium 5083. *Jurnal Teknis ITS*, Vol. 4, No. 3, Hal. 102-110.
- [2] Aljufri, & Putra, R. (2018). Pengaruh porositas las terhadap kekuatan tarik pada material AISI 1050 yang menggunakan kampuh V 90 derajat. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi*, p-ISSN : 2407-1846.
- [3] Goecke, S., & Kaufmann, H. (2001). Researchgate Tandem MIG/MAG Welding. *Svetsaren journal*, No 2-3. Hal 24-28.
- [4] Hamdani, Ibrahim, A., & Sariyusda. (2015). Pengaruh Masukan Panas Proses Pengelasan Terhadap Sifat Mekanik Baja AISI 1045. *Jurnal Ilmiah "MEKANIK" Teknik Mesin ITM*, Hal. 60- 64.
- [5] Irawan, S. Y. (2012). Effect of Surface Roughness and Chamfer Angle on Tensile Strength of Round Aluminum A6061 Produced by Continuous Drive Friction Welding. *Journal of Engineering and Applied Sciences 11*, Hal 1178 - 1185.
- [6] Mudjijana. (2018). Physical and Mechanical Properties of Semi-Automatic MIG Welding of AA5083H116 Materials. *JMPM: Jurnal Material dan Proses Manufaktur*, Vol. 2. No. 1. Hal 8-16.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] Sirisatien, T., Mahabunphachai, S., & Sojiphan, K. (2018). Effect of submerged arc welding process with one-side one-pass welding technique on distortion behavior of shipbuilding steel plate ASTM A131 grade A. *Elsevier Materials Today: Proceedings 5*, Hal. 9543 - 9551.
- [10] 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.