V13 N1



Anggit Widodo

Departemen Teknik Mesin dan Industri Fakultas Teknik, Universitas Gadjah

Departemen Teknik Mesin dan Industri

Fakultas Teknik, Universitas Gadjah

Anggit_widodo@mail.ugm.ac.id

Mahasiswa S2

M. N. Ilman

ilman_noer@ugm.ac.id

Staf Pengajar

Mada

Mada

PENGARUH FREKUENSI GETARAN TERHADAP SIFAT FISIS DAN MEKANIK PADA SAMBUNGAN LAS MIG ALUMINIUM PADUAN AA 6061-T6

AA 6061-T6 aluminium alloy is one of the 6xxx series that is widely used in engineering, especially automotive, aircraft, piping, and shipbuilding industries because it has many advantages. Despite AA 6061-T6 has a relatively good weldability, the strength of the weld joints is lower compared to its AA6061-T6 base metal. Therefore, this study aims to improve mechanical properties of metal inert gas (MIG) welded AA 6061-T6 aluminium alloy plates such as hardness and tensile strength by introducing engineering vibration during welding at a frequency of 100 Hz. The MIG welding process was conducted using current (I), voltage (E) and welding speed (v) of 120 Ampere, 20 Volt and 12 mm/minute respectively with filler metal used was ER5356. Results showed that the ultimate tensile strength of the weld joints increased under vibrational treatment with the tensile strength achieved 172.02 MPa which was 49% higher compared to conventional weld joint. The higher strength of the vibrated weld joints could be linked to the weld microstructure which consisted of fine grained equiaxed-dendritic structures.

Keywords : Micro Structure, Hardness, Tensile Strength, Vibration Frequency, AA 6061-T6.

1. PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan industri transportasi yang semakin pesat seperti perkapalan, kereta api dan otomotif, industri manufatur di seluruh dunia senantiasa berinovasi untuk menghasilkan produk yang lebih efisien dan performa tinggi. Untuk mencapai tujuan ini, salah satu upaya yang dilakukan adalah dengan pemakaian logam ringan seperti aluminium sehingga bobot total kendaraan atau struktur menjadi ringan untuk menekan konsumsi bahan bakar dan meningkatkan kecepatan [1].

Aluminium dan paduannya banyak digunakan untuk struktur dan permesinan karena ringan, kekuatan tarik relatif tinggi, tahan korosi sedangkan sifat mampu las (*weldability*) bervariasi [2,3]. Salah satu aluminium paduan yang banyak digunakan untuk struktur dan konstruksi mesin adalah AA 6061-T6 yang merupakan paduan aluminium Al-Mg-Si. Aluminium paduan AA 6061-T6 merupakan logam yang dapat diberi perlakuan panas (*heat treatable*), mempunyai kekuatan tarik sedang (310 MPa), dan sifat mampu las (*weldability*) yang relatif baik [4] dan logam paduan ini banyak digunakan pada struktur kapal, kendaraan dan pesawat. Dalam proses fabrikasi, teknik las *metal inert gas* (MIG) banyak digunakan untuk penyambungan AA 6061-T6. Namun proses pengelasan MIG ini masih ditemui beberapa masalah pada hasil pengelasan yaitu terbentuknya porositas yang dapat menurunkan sifat mekanis las [5].

Beberapa cara telah dilakukan untuk mengatasi permasalahan pada pengelasan, salah satunya adalah dengan pemberian getaran pada benda kerja : (a) saat pengelasan dilakukan atau (b) setelah pengelasan [6]. Pengelasan dengan meggunakan getaran selama proses pengelasan ini dikenal dengan nama *vibration assisted welding* (VAW) [7] sedangkan pemberian getaran setelah pengelasan bisanya dilakukan untuk tujuan pembebasan tegangan sisa (*stress relieving*). Pemberian getaran saat pengelasan (VAW) diharapkan dapat mengatasi cacat yang lazim ditemui pada paduan aluminium yaitu porositas [8]. Di samping itu, pengelasan VAW dapat memperbaiki struktur mikro dengan cara memodifikasi proses pembekuan las [9]. Hal ini disebabkan karena pengelasan dengan menggunakan getaran dapat menghasilkan campuran yang lebih

sempurna antara logam pengisi (*filler*) dan logam dasar (*base metal*) selama pengelasan [10,11]. Efek dari penggunaan getaran selama proses pengelasan terhadap sifat mekanik berhubungan dengan penghalusan butir (*grain refinement*) yang dihasilkan melalui fragmentasi dendrit selama proses pembekuan [11,12]. Selanjutnya, penghalusan butir (*grain refinement*) pada pengelasan dapat meningkatkan kekuatan tarik, meningkatkan kekerasan mikro dan mengurangi porositas yang terjadi pada lasan [13].

Penggunaan getaran untuk penghalusan butir telah lama digunakan pada proses pengecoran dan kemudian diaplikasikan pada pengelasan yang dikenal dengan perlakuan VAW dengan frekuensi dan amplitudo yang digunakan berkisar 1 sampai 10^5 Hz dan 0.1 sampai 10^4 µm [14]. Pada prinsipnya, pengelasan hampir sama dengan proses pengecoran dimana dalam proses pengelasan terjadi peleburan, reaksi oksidasi/reduksi akibat interaksi gas-las cair-fluks, arus konveksi las yang menyebabkan semua unsur-unsur bercampur dan pembekuan (solidifikasi) sehingga membentuk sebuah paduan logam baru yang dinamakan logam las (*weld metal*) [15-17]. Disamping getaran ultrasonik (frekuensi di atas 20.000 Hz), perlakuan VAW dapat juga menggunakan getaran dengan frekuensi dan amplitudo rendah yang berkisar antara 0-400 Hz dan 0-40 µm dan pada kisaran frekuensi ini terbukti lebih efektif dalam memperbaiki struktur dendrit selama proses pembekuan. Sampai saat ini, penelitian yang mempelajari pengaruh getaran pada pengelasan aluminium AA 6061-T6 dengan *filler* ER5356 belum banyak dilakukan sehingga ini menjadi topik bahasan pada penelitian ini.

2. METODE DAN BAHAN

Secara umum penelitian dapat dibagi ke dalam 4 langkah, yaitu proses pembuatan spesimen las, proses pembuatan sampel uji, proses pengujian sampel uji, dan terakhir analisis hasil pengujian sampel. Pengelasan menggunakan las MIG yang dilakukan pada plat AA 6061-T6 dengan ukuran 300x100x3 mm³ dengan *filler* ER 5356 dan diameter elektroda: 0,8 mm. Komposisi kimia bahan dapat dilihat pada Tabel 1.

Material	AA6061- T6	ER5356
Mg	0,95	4,5-5,5
Mn	0, 07	0,05-0,20
Si	0,60	0,25
Fe	0,70	0,40
Cr	0,15	0,05-0,20
Cu	0,20	0,10
Zn	0,25	0,10
Ti	0,02	0,20
Al	Bal.	Bal.

Tabel 1: Komposisi kimia AA 6061-T6 dan logam filler ER 5356 (wt%)

Metode pengelasan yang digunakan yaitu pengelasan tanpa getaran dan menggunakan getaran dengan frekuensi sebesar 100Hz. Parameter pengelasan yang digunakan adalah arus listrik (*I*): 120 Amper, tegangan (*E*): 20 Volt, dan kecepatan pengelasan (*v*): 12 mm/ detik sehingga masukan panas (*heat input*) sebesar 0,2 kJ/mm. Pada pengelasan ini menggunakan gas Argon sebagai gas pelindung dengan debit: 25 liter/menit, sedangkan posisi alat penggetar dan arah getaran seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1: Skema Pengelasan MIG dengan Variasi Getaran.

2.1 Pengamatan Struktur Mikro dan Makro

Pengujian struktur mikro dilakukan pada logam las, *heat affected zone* (HAZ) dan logam induk (*base metal*) seperti terlihat pada Gambar 2. Sebelum diuji spesimen terlebih dahulu dipoles kemudian dietsa menggunakan standar ASTM E 407 (1 ml HF +1,5 ml HCl +2,5 HNO₃ dan 95 ml H₂0) selama 10-20 detik



Gambar 2: Ukuran spesimen struktur mikro

2.2 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui tingkat kekerasan akibat variasi struktur mikro sepanjang sambungan las. Uji kekerasan dilakukan pada permukaan spesimen seperti pada Gambar 3 dengan metode *Vickers*. Parameter yang digunakan dalam pengujian kekerasan yaitu beban 100 gram *force*, waktu pembebanan 10 detik, dan jarak antar titik yang diukur adalah 500 µm. Nilai kekerasan Vickers dinyatakan dengan Persamaan (1) di bawah:

$$VHN = \frac{1854 \text{ F}}{D^2} \quad (kg/mm^2) \tag{1}$$
$$D = \frac{d1+d2}{2} \quad (mm) \tag{2}$$

dimana *VHN* : angka kekerasan *Vickers* (kg/mm²) atau *Vickers microhardness* (*VHN*), F : beban (kg) , D: diagonal injakan rata-rata (mm)



Gambar 3: Skema Pengujian Kekerasan Vickers Pada Spesimen

2.3 Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui nilai kekuatan tarik (*tensile strength*), kekuatan luluh (*yield stress*) dan keuletan (*ductility*) dalam bentuk % regangan. Bentuk dan ukuran spesimen untuk uji tarik sesuai dengan ASTM E8 seperti pada Gambar 4. Dari pengujian tarik ini diperoleh grafik tegangan-regangan yang selanjutnya tegangan luluh (*yield stress*) dan kekuatan tarik (*untimate tensile stress*) dapat ditentukan menurut Persamaan. (3) sebagai berikut.



 $\sigma = \frac{P}{Ao}$ (3)

dimana σ = Tegangan Tarik (MPa), P = Beban maksimal (N), Ao = Luas penampang (mm^2). Selanjutnya permukaan patah dari hasil uji tarik ini akan diamati dengan mikroskop optik dengan perbesaran rendah. Hal tersebut bertujuan untuk mengetahui bentuk patahan hasil pengujian Tarik.

3. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Hasil Pengamatan Struktur Makro dan Mikro

Gambar 5 menunjukkan hasil foto makro sambungan las MIG tanpa dan dengan perlakuan getaran yang terdiri dari logam las (*weld metal*) atau disingkat WM, *heaf affected zone* (HAZ), dan logam induk atau *base metal* (BM).



Gambar 5: Spesimen uji makro a) Tanpa perlakuan b) Frekuensi getaran 100Hz

Gambar 5.a menunjukkan adanya porositas (pori-pori) yang terjadi pada *weld metal* dengan proses las MIG tanpa getaran. Porositas yang terjadi bisa dalam bentuk halus (*micro porosity*) maupun kasar (*coarse porosity*). Hal ini disebabkan karena kelarutan hidrogen meningkat seiring dengan meningkatnya suhu terutama saat aluminum melebur dan selanjutnya gas hidrogen yang terperangkap pada *weld metal* ini membentuk pori-pori saat proses pembekuan las [15]



Gambar 6: (a) Struktur mikro daerah las tanpa perlakuan, (b) frekuensi getaran100 Hz

Struktur mikro daerah las secara umum berbentuk *dendrit* dengan warna gelap yang menunjukkan fasa silikon-magnesium (Mg₂Si) dan atau silikon (Si), sedangkan warna terang merupakan fasa α aluminium [15]. Hasil pengelasan tanpa menggunakan getaran (Gambar 6.a) menunjukan struktur mikro berupa *dendrite* dan *equiaxed-dendritic*. Pada pengelasan dengan frekuensi getaran 100 Hz (Gambar 6.b), struktur *equiaxed-dendritic* menjadi lebih banyak dan terjadi penghalusan butir (*grain refinement*). Hal ini disebabkan karena 2 faktor. Pertama, adanya getaran lengan dendrit (*dendritic arm*) patah dan berfungsi sebagai substrat tempat nukleasi atau pengintian struktur *equiaxed-dendritic*. Kedua, pemberian getaran pada frekuensi 100 Hz menyebabkan suhu di seluruh kawah las (*weld pool*) cenderung homogen sehingga gradien suhu (*G*) menjadi rendah. Selanjutnya struktur pembekuan las dapat dinyatakan dengan Persamaan. (4) berikut:

$\Delta G/R > \Delta T/D$

(4)

dengan ΔG : gradien suhu, *R*: laju pertumbuhan, ΔT : *undercooling* dan *D*: koefisien difusi. Jika ΔG rendah akibat getaran maka nilai $\Delta G/R$ akan rendah pula sehingga struktur mikro akan cenderung berubah dari palanar, selular, selular-dendrit, dendrit dan berakhir *equi-axed dendritic* [16].



Gambar 7: Struktur mikro daerah batas las/Haz (a) tanpa perlakuan, (b) frekuensi getaran 100 Hz,

Gambar 7 memperlihatkan struktur mikro pada daerah las, *partially melted zone* (PMZ) dan HAZ pada kondisi : (a) tanpa getaran dan (b) dengan perlakuan getaran. Dari kedua fotomikograf terlihat bahwa struktur mikro daerah las berupa kolumnar dendritik yang tumbuh dari butir-butir PMZ menuju ke pusat las selama proses pembekuan sedangkan daerah PMZ tersusun atas butir-butir berbentuk poligonal (*equiaxed structure*). Lebar daerah PMZ dengan getaran 100 Hz sebesar 215,28 µm sedangkan tanpa getaran 255,61 µm. Efek getaran menyebabkan lebar daerah PMZ lebih sempit disertai penghalusan butir di dalam PMZ. Hal ini disebabkan karena perlakuan getaran menyebabkan partikel *intermetalik* di dekat garis fusi (FZ) tersapu oleh aliran logam cair menuju wilayah tengah kawah las selama proses pengelasan sehingga struktur PMZ mengecil [14-17].

3.2 Hasil Pengujian Kekerasan Vickers

Gambar 8 memperlihatkan distribusi kekerasan pada sambungan las pada kondisi tanpa dan dengan perlakuan getaran. Hasil uji kekerasan menunjukkan bahwa daerah las dan HAZ memiliki nilai kekerasan yang jauh lebih rendah dibanding logam induknya. Fenomena ini terjadi karena adanya energi panas untuk mencairkan logam las dan mengubah struktur mikro HAZ sehingga terjadi pelunakan sedangkan pada logam induk relatif tidak terpengaruh panas pengelasan sehingga nilai kekerasannya relatif tetap. Logam las dapat dikategorikan sebagai produk cor (*cast product*) sedangkan logam induk adalah produk pengerolan (*wrought product*). Nilai kekerasan pada daerah HAZ juga cenderung lebih rendah dibanding logam induk dikarenakan panas yang dihasilkan selama proses pengelasan menyebabkan terjadinya pertumbuhan butir baru (rekristalisasi) sehingga daerah ini mengalami pelunakan [18].

Nilai kekerasan pada logam las meningkat akibat perlakuan getaran pada frekuenis 100 Hz. Hal ini disebabkan karena efek getaran menyebabkan terjadinya pengadukan (*stirring*) pada las cair yang lebih merata sehingga menghasilkan struktur mikro berupa *equiaxed dendritic* yang lebih halus. Menurut beberapa peneliti [13,17], semakin kecil butiran struktur mikro maka nilai kekerasan hasil pengelasan akan semakin meningkat pula. Disamping penghalusan butir, peningkatan nilai kekerasan las akibat getaran juga berhubungan dengan pengerjaan dingin (*work hardening*) yaitu ditandai dengan peningkatan jumlah dislokasi pada batas butir sudut rendah atau tinggi [19].



Gambar 8: Hasil pengujian kekerasan vickers

3.3 Hasil Pengujian Tarik

Hasil uji tarik dinyatakan dalam kekuatan tarik maksimum (*ultimate tensile strength*) atau σ_{max} dan tegangan luluh (*yield stress*) atau σ_y terlihat pada Gambar 10. Dari Gambar 10 terlihat bahwa pengaruh getaran cenderung meningkatkan kekuatan logam las. Nilai kekuatan tarik las tanpa getaran sebesar 115,5 MPa. Pemberian getaran dengan frekuensi getaran 100 Hz menyebabkan kenaikan kekuatan tarik las hingga mencapai 172,0 MPa atau terjadi kenaikan kekuatan tarik sebesar 48,9% dari las tanpa getaran. Perilaku yang sama terlihat juga pada tegangan luluh las. Disamping kekuatan tarik dan tegangan luluh, efek getaran juga menyebabkan peningkatan keuletan seperti terlihat pada Gambar 11. Logam induk AA6061-T6 mempunyai kekuatan tarik yang paling tinggi yaitu 333,2 MPa dibandingkan logam las baik dengan atau tanpa getaran.

Peningkatan kekuatan tarik las akibat getaran ini disebabkan karena adanya butir halus dalam bentuk equi-axed sesuai dengan persamaan *Hall-Petch* berikut [20].

$$\sigma_y = \sigma_f + \frac{k}{\sqrt{d}} \tag{5}$$

dengan σ_y : kekuatan luluh, σ_r : tegangan geser yang melawan dislokasi butir, d = diameter butir dan k = konstanta. Faktor lain yang mempengaruhi kekuatan tarik las adalah adanya porositas (*void*) seperti terlihat pada las tanpa getaran yang menyebabkan rendahnya kekuatan tarik las [13,18].



Gambar /11: Diagram hasil uji Tarik

Permukaan patah hasil uji tarik las : (a) tanpa dan (b) dengan perlakuan getaran terlihat seperti pada Gambar 12. Dari Gambar 10(a) terlihat bahwa permukaan patah pada las tanpa perlakuan getaran tegak lurus dengan arah tegangan tarik yang bekerja. Hal ini menunjukkan bahwa patah terjadi akibat tegangan normal akibat material las yang getas. Efek getaran menyebabkan lokasi perpatahan berpindah dari daerah las ke daerah sekitar HAZ dengan permukaan patah membentuk sudut 45° terhadap arah tegangan tarik yang bekerja. Patah tipe seperti ini merupakan patah geser dan mengindikasikan bahwa material cenderung ulet disertai deformasi yang lebih tinggi. Setiap terjadi patah akan melibatkan dua tahap yaitu pembentukan crack (retakan) kemudian penyebaran retakan akibat tegangan yang terjadi [21].



Gambar 12. Struktur makro patahan pengujian tarik (a) tanpa getaran (b) frekuensi getaran 100 Hz

Penelitian ini telah berusaha mempelajari pengaruh getaran terhadap struktur mikro dan sifat statis (kekerasan dan kekuatan tarik) las. Namun untuk perancangan struktur las yang menerima beban dinamis, sifat kelelahan (*fatigue property*) las sangat penting sehingga akan diteliti di masa mendatang.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan dari makalah ini dapat ditarik sebaai berikut:

- 1. Perlakuan getaran dengan frekuensi 100 Hz selama proses pengelasan menyebabkan penghalusan butiran pada daerah las dengan struktur mikro berbentuk *equiaxed dendritic*.
- 2. Perlakuan getaran pada saat proses pengelasan dapat menaikan kekerasan pada daerah las.
- 3. Perlakuan getaran dengan frekuensi 100 Hz selama proses pengelasan dapat meningkatkan kekuatan tarik daerah las sebesar 48,9% akibat penghalusaan butir menurut persamaan Hall-Petch.

PERNYATAAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada segenap staf Laboratorium Bahan Teknik, Departemen Teknik Mesin dan Industri FT Universitas Gajah Mada yang telah mendukung penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] TIAN Y, SHEN J, HU S, WANG Z & GOU J, "Effects of ultrasonic vibration in the CMT process on welded joints of Al alloy", *J Mater Process Technol*, pp. 259-282, 2018.
- [2] Kido, M. I., Sugiarto, Darmadi, D.B., "Perubahan Sifat Mekanik Hasil Pengelasan Gesek Aluminium 6061 Akibat Perubahan Temperatur Lingkungan", *Rekayasa Mesin*, Vol 11, pp. 95 102, 2021.
- [3] RADHAKRISHNAN, K., PARAMESWARAN, P., ANTONY, A. G., & RAJAGURU, K "Optimization of mechanical properties on GMAW process framework using AA6061-T6", *Materials Today: Proceedings*, Vol. 37, pp. 2924–2929, 2020.
- [4] LUMLEY, R., "Fundamentals of Aluminium Metallurgy", Woodhead Publishing Limited, Cambridge, 2011.
- [5] NIE, F. DONG, H. CHEN, S. LI, P. WANG, L. ZHAO, Z. LI, X. ZHANG, H, "Microstructure and Mechanical Properties of Pulse MIG Welded AA6061/AA356 Aluminum Alloy Dissimilar Butt Joints", *Journal of Materials Science & Technology*, pp. 551-560, 2018.
- [6] LATHABAI, S. "Fundamentals of Aluminium Metallurgy", Production, Processing and Applications, pp. 607–54, 2011.
- [7] JOSE, M. J., KUMAR, S. S., & SHARMA, A.," Vibration assisted welding processes and their influence on quality of welds", *Science and Technology of Welding and Joining*, Vol.21, pp. 243–258, 2016.
- [8] PICCINI, J. M., & SVOBODA, H. G. Tool geometry optimization in friction stir spot welding of Alsteel joints. *Journal of Manufacturing Processes*, Vol. 26, pp. 142–154, 2017.
- [9] SONG, J., ZHANG, M., HAN, C., WANG, K., & ZHANG, H., "Towards fast repackaging and dynamic authority management on Android" *Wuhan University Journal of Natural Sciences*, Vol. 21, pp. 1–9, 2016.
- [10] RADEL, T., "Mechanical manipulation of solidification during laser beam welding of aluminum",

Welding in the World, Vol 62, pp. 29–38, 2017.

- [11] YUAN, T., KOU, S., & LUO, Z, "Grain refining by ultrasonic stirring of the weld pool", Acta Materialia, Vol. 106, pp. 144–154, 2016.
- [12] TAMASGAVABARI, R., EBRAHIMI, A. R., ABBASI, S. M., & YAZDIPOUR, A. R., "The effect of harmonic vibration with a frequency below the resonant range on the mechanical properties of AA-5083-H321 aluminum alloy GMAW welded parts", *Materials Science and Engineering*, Vol. 736, pp. 248–257, August. 2018.
- [13] SABZI, M., & DEZFULI, S. M., "Drastic improvement in mechanical properties and weldability of 316L stainless steel weld joints by using electromagnetic vibration during GTAW process. *Journal of Manufacturing Processes*, Vol. 33, pp. 74–85, 2018.
- [14] ILMAN, M. N., SRIWIJAYA, R. A., MUSLIH, M. R & TRIWIBOWO, N. A, "Strength and fatigue crack growth behaviours of metal inert gas AA5083-H116 welded joints under in-process vibrational treatment", *Journal of Manufacturing Processes*, Vol. 59, pp.727–738, August. 2020.
- [15] KHOIRUL R, WINARTO. "Efek getaran pada pengelasan aluminum 5083 H112 menggunakan proses las gas metal arc welding (GMAW) terhadap porositas dan sifat mekanik", *Jurnal Teknologi Terapan*. Vol 4, 2018.
- [16] CHAKRABARTI, D.J., LAUGHLIN," *Phase Relation and Precipitation in Al Mg -Si Alloys with Cu Additions*", Progress in Materials Science, 2004.
- [17] ROHMAT, I. K., & WINARTO, W, "Efek Getaran Pada Pengelasan Aluminum 5083 H112 Menggunakan Proses Las Gas Metal Arc Welding (GMAW) Terhadap Porositas", *JTT (Jurnal Teknologi Terapan)*, Vol. 4, pp. 85, 2018.
- [18] YUAN, T., KOU, S., & LUO, Z, "Grain refining by ultrasonic stirring of the weld pool", Acta Materialia, Vol. 106, pp. 144–154, 2016.
- [19] JOSE, M. J., KUMAR, S. S., & SHARMA, A., "Vibration assisted welding processes and their influence on quality of welds", *Science and Technology of Welding and Joining*, Vol 21, pp. 243-258, 2016.
- [20] LI, J. SHEN, J. HU, S. LIANG, Y. QIANG, W., "Microstructure and mechanical properties of 6061/7N01 CMT+P joints", *Journal of Material processing*, Vol 264, pp.134-144, 2019.
- [21] YAN, S. XING, B. ZHOU, H, XIAO, Y., "Effect of filling materials on the microstructure and properties of hybrid laser welded Al-Mg-Si alloys joints", *Material Characterization*, vol. 144, pp. 205-218, 2018.