

PENGARUH *HEAT TREATMENT* T6 PADA ALUMINIUM ALLOY 6061-O DAN PENGELASAN *TRANSVERSAL TUNGSTEN INERT GAS* TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO

*Andrea Tri Wibowo¹, Gunawan Dwi Haryadi², Yusuf Umardani²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: andreatriwibowo@yahoo.com

Abstrak

Aluminium 6061-T6 mempunyai keunggulan seperti kekuatan tarik relatif tinggi, sifat mampu bentuk (*formability*) baik, tahan korosi dan merupakan logam ringan. Kelemahan Al 6061-T6 adalah sifat mampu las (*weldability*) relatif rendah dan sambungan las rentan terhadap kegagalan (*failure*). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perubahan sifat mekanik dan struktur mikro dari Aluminium Alloy 6061-O pada arah pengelasan *transversal* dengan las *tungsten inert gas* (TIG) yang di-*post weld heat treatment* (PWHT) ataupun yang tidak di PWHT. Pengujian yang digunakan menggunakan perlakuan panas T6 dengan temperatur solution 520°C dan di *quenching* air dingin, kemudian *artificial aging* dengan temperatur 180°C dan variasi waktu selama 8 jam, 18 jam, dan 24 jam. Dari hasil pengujian yang dilakukan, material yang di-PWHT selama 18 jam mengalami peningkatan kekuatan dengan nilai tegangan luluh sebesar 118% (247.84MPa), nilai tegangan max sebesar 159% (304.42MPa) dan memiliki nilai regangan yang menurun sebesar 50% yaitu menjadi 9.8%. Nilai kekerasan mengalami peningkatan setelah di-PWHT. PWHT selama 18 jam memiliki nilai kekerasan tertinggi pada daerah *heat affected zone* (HAZ) yaitu sebesar 97% (129.9Hv). Dari perubahan struktur mikro terlihat adanya perbedaan struktur butir, material tanpa PWHT memiliki ukuran butir yang lebih besar dibanding material yang di-PWHT dan pada PWHT 18jam memiliki ukuran butir yang lebih kecil dari pada PWHT 24jam, namun lebih besar daripada 8jam dan lebih tersebar merata ke seluruh bagian akibat pengaruh panas las dan perlakuan *post welding heat treatment*.

Kata Kunci: *Artificial aging, aluminium alloy 6061-O, las TIG, heat treatment, sifat mekanik*

Abstract

Aluminum 6061-T6 has a advantages such as relatively high tensile strength, formability, highly corrosion resistance which and of lightweight metal. But these metals relatively have low weldability properties and weld joints are susceptible to failure. This study deals to determine the changing of mechanical properties and microstructure of Aluminum Alloy 6061-O in transversal welding with tungsten inert gas welding (TIG), by using post-weld heat treatment (PWHT) or without PWHT. This study used the T6 heat treatment with temperature 520°C and quenching solution of cold water, then artificial aging with temperature 180°C and time variation for 8 hours, 18 hours, and 24 hours. From the results of tests performed, the material on-PWHT for 18 hours has an increase of strength with yield stress 118% (247.84MPa), the ultimate tensile stress 159% (304.42MPa) with the decreasing strain of itself 50% being 9.8%. Hardness values increased after in-PWHT. PWHT for 18hours has the highest hardness in the area of heat affected zone (HAZ) of 97% (129.9Hv). By changing the microstructure, we have different grain structure, material without PWHT has a larger grain size than the material in-PWHT and PWHT within 18 hours had a relatively smaller grain size than the PWHT 24 hours, but more than 8 hours and more spread evenly to all parts due to the effect of heat treatment welding and post welding heat treatment.

Keywords: *aging, aluminium alloy 6061-O, TIG welding, heat treatment, mechanical properties*

1. PENDAHULUAN

Aluminium (Al) merupakan logam ringan yang mempunyai sifat tahan terhadap korosi dan hantaran listrik yang baik. Paduan aluminium 6xxx banyak digunakan sebagai produk ekstrusi, serta untuk konstruksi dan aplikasi otomotif [1]. Untuk mendapatkan peningkatan kekuatan mekanik, biasanya logam aluminium dipadukan dengan dengan unsur Cu, Si, Mg, Zn, Mn, Ni, dan unsur lain [2].

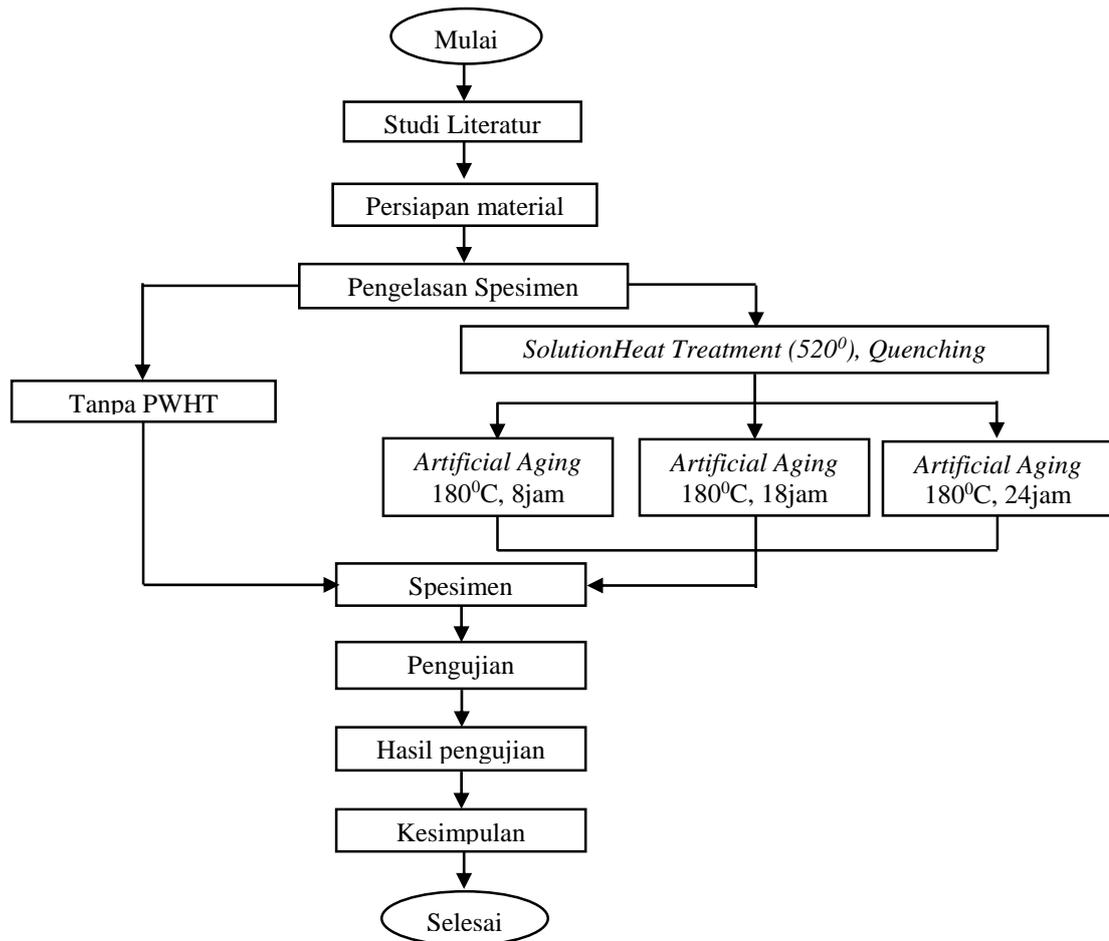
Saat ini pengelasan yang biasanya digunakan adalah *Tungsten Inert Gas* (TIG). Penggunaan las TIG mempunyai dua keuntungan, yaitu dapat dikontrol dengan baik dan memiliki kualitas yang lebih baik jika dibandingkan dengan las gas [3].

Pada zona *Weld Metal* (WM) dan *Heat Affected Zone* (HAZ) memiliki dampak energi yang lebih rendah dan keuletan yang rendah dari pada *Base Metal* (BM). Secara umum, struktur yang dilas memiliki sifat mekanik yang kurang baik dari pada logam dasarnya [4]. Dengan perbedaan pemanasan akan menyebabkan struktur yang menyusun suatu material akan berubah. Salah satu perlakuan yang dilakukan pada proses pengelasan adalah *Post weld heat treatment* (PWHT). *Post weld heat treatment* biasanya digunakan untuk mengurangi semua tegangan sisa atau tegangan internal yang mungkin terbentuk saat proses pengelasan [5].

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi efek dari *post welding heat treatment* (PWHT) dan arah pengelasan TIG yaitu *transversal* terhadap arah pengerolan material pada aluminium paduan 6061-O dengan temperatur tertentu dan berbagai waktu *aging*, kemudian membandingkan hasil yang di dapat dengan aluminium paduan 6061 tanpa dilakukan PWHT terhadap sifat mekanik dan struktur mikronya.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Untuk mengetahui langkah-langkah dalam penelitian ini bisa dilihat pada Gambar1 pada diagram alir penelitian.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Material yang digunakan berupa plat AA 6061-O yang dipotong dengan ukuran 150x300mm yang dapat dilihat pada Gambar2. Material AA 6061-O dipilih karena material tersebut belum mengalami perlakuan panas. Filler yang digunakan adalah ER 4043 yang dapat dilihat pada Gambar3. Filler sebagai material pengisi agar dua spesimen bisa disambungkan. Untuk komposisi kimia AA 6061-O dan filler ER 4043 dapat dilihat pada Tabel1.



Gambar 2. Material AA 60661-O 300 x 150 mm



Gambar 3. Filler material tipe ER 4043

Tabel 1. Komposisi kimia AA 6061-O dan filler ER 4043 (Wt%)

Material	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Lainnya
AA 6061-O	97,32	0,69	0,5	0,22	0,11	0,86	0,15	0,11	0,05	0,02
ER 4043	Bal	4,8	0,2	0,02	< 0,01	0,01	-	0,02	0,01	< 0,15

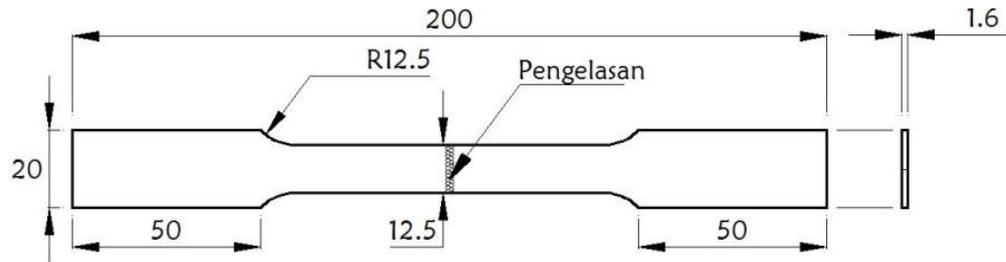
Pengelasan menggunakan las *Tungsten Inert Gas* (TIG) dengan parameter pengelasan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Parameter pengelasan TIG

Parameter	Nilai
<i>Welding machine</i>	Miller
<i>Tungsten electrode diameter</i>	1,6 mm
<i>Filler rod / wire diameter</i>	2,4 mm
<i>Heat input</i>	2,5 kJ/mm
<i>Peak current</i>	70 Amps
<i>Base current</i>	60 Amps
<i>Peak voltage</i>	14,3 Volts
<i>Base voltage</i>	13,8 Volts
<i>Welding speed</i>	4,19 mm/sec
<i>Welding grade</i>	99,99 %
<i>Melting point</i>	543 ^o C – 640 ^o C
<i>Pulse frequency</i>	6 Hz
<i>Pulse on time</i>	50 %
<i>Shielding gas</i>	Argon
<i>Gas flow rate</i>	15 L/min

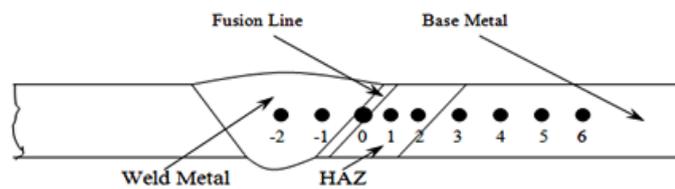
Dalam penelitian ini spesimen yang digunakan untuk pengujian adalah logam induk Al 6061-O, pengelasan secara transversal terhadap arah pengerollan. Sebelum dilakukan pengujian, material diberi perlakuan panas T6. Dengan temperatur *solution* 520^oC selama 1 jam, kemudian di *quench* air dingin. Setelah itu dilakukan *artificial aging* dengan temperatur 180^oC selama 8 jam, 18 jam, dan 24 jam. Spesimen tersebut kemudian dilakukan tiga pengujian, yaitu uji tarik, uji kekerasan dan uji struktur mikro untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.

Pengujian tarik dibuat berdasarkan ASTM B-557-06 (*American Standard Testing Materials*) dimensi gambar spesimen dapat dilihat pada Gambar 3. Pengujian tarik menggunakan alat uji tarik *Contolab/TN 20 MD* dan dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik Universitas Gajah Mada.



Gambar 3. Spesimen uji tarik (Standar ASTM B-557-06)

Untuk pengujian kekerasan dilakukan pada daerah logam induk (BM), daerah terpengaruh panas (HAZ), logam las (WM) dengan jarak indentasi 1mm, untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada Gambar 4. Pengujian kekerasan menggunakan standar ASTM E384 dengan waktu penekanan selama 12 detik dan beban mayor 0,3 KgF. Alat uji kekerasan menggunakan mikro *Vickers HM-200 Mitutoyo* dan dilakukan di UPT Laboratorium Terpadu Universitas Diponegoro.



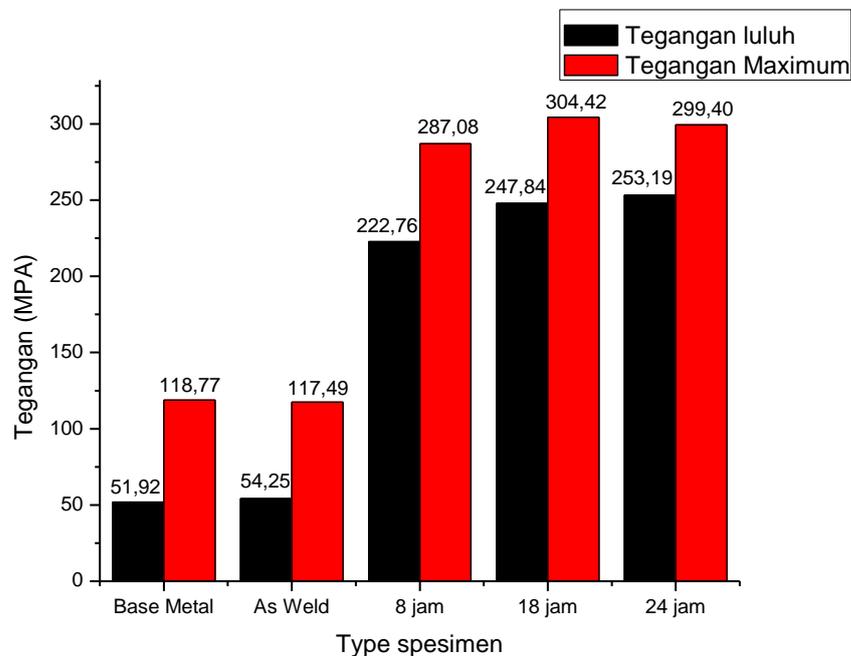
Gambar 4. Distribusi kekerasan pada daerah pengelasan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian Tarik

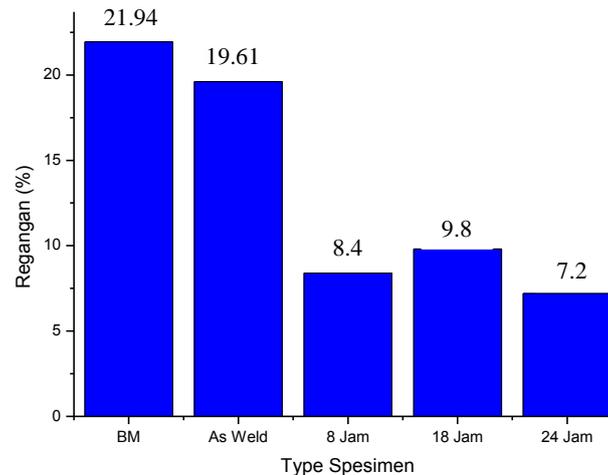
Dari pengujian tarik yang telah dilakukan kita mendapatkan data tegangan luluh (σ_y), tegangan maksimum (σ_u), dan regangan (ϵ) dari logam induk aluminium, *as welded*, PWHT 8 jam, PWHT 18 jam dan PWHT 24 jam. Spesimen pengujian tarik menggunakan standar ASTM B 557-06. Hasil pengujian tarik dapat ditunjukkan pada Gambar 5 dan Gambar 6.

a. Grafik kekuatan tarik material pengelasan dan PWHT T6



Gambar 5. Grafik kekuatan tarik material pengelasan dan PWHT T6

b. Grafik regangan (*elongation*) material pengelasan dan PWHT T6



Gambar 6. Grafik regangan (*elongation*) material pengelasan dan PWHT T6

Hasil pengujian tarik spesimen pengelasan *transversal* dapat dilihat pada grafik kekuatan tarik pada Gambar 5. Grafik tersebut menampilkan bahwa logam induk material mempunyai tegangan luluh 51,92MPa dan tegangan maksimum 118,77MPa, dan spesimen pengelasan tanpa PWHT memiliki tegangan luluh 54,25MPa dan tegangan maksimum 117,49MPa, ini menunjukkan bahwa ada penurunan tegangan luluh sebesar 1,7%, tegangan maksimum 0,4%.

Dari tiga spesimen pengelasan yang telah di PWHT, spesimen pengelasan yang di-PWHT selama 8 jam menghasilkan kekuatan luluh 222,76 MPa dan kekuatan tarik maksimum 287,08 MPa. Ini menunjukkan bahwa ada peningkatan tegangan luluh sebesar 310% dan tegangan maximum 140% dari spesimen pengelasan tanpa PWHT. Pada spesimen pengelasan yang di-PWHT selama 18 jam menghasilkan kekuatan luluh 247,84 MPa dan kekuatan tarik maksimum 304,42 MPa. Ini menunjukkan bahwa ada peningkatan tegangan luluh sebesar 356% dan tegangan maximum 144% dari spesimen pengelasan tanpa PWHT. Spesimen pengelasan PWHT selama 24 jam menghasilkan nilai kekuatan yang tertinggi yaitu 253,19 MPa dan kekuatan tarik maksimum 299,40 MPa. Ini menunjukkan bahwa ada peningkatan tegangan luluh sebesar 145% dan tegangan maximum 366% dari spesimen pengelasan tanpa PWHT.

Persentase regangan dari logam induk dan logam yang telah di-PWHT dapat dilihat pada Gambar 6. Dapat dilihat pada grafik regangan dari logam induk sebesar 21,936% dan spesimen pengelasan tanpa PWHT memiliki regangan 19,61%. Ini menunjukkan bahwa ada penurunan regangan keuletan dari material karena pengaruh pengelasan. Material pengelasan dengan PWHT 18 jam nilai regangannya yaitu 8,4%, PWHT 18 jam memiliki regangan 9,8% sedangkan PWHT 24 jam memiliki regangan sebesar 7,2%. Dari hasil di atas spesimen pengelasan dengan PWHT 18 jam mempunyai regangan yang tinggi dibandingkan dengan PWHT 8 jam dan 24 jam.

Dapat disimpulkan bahwa PWHT menurunkan keuletan material, tetapi dapat meningkatkan nilai kekuatan tarik. Material pengelasan yang di PWHT selama 18 jam mempunyai sifat mekanik yang baik karena memiliki tegangan luluh yang tidak berbeda jauh dengan 24jam serta memiliki tegangan maximum, regangan yang lebih tinggi dari pada yang lain.

Rekapitulasi data pengujian pada penelitian ini (pengelasan dengan PWHT 18 jam) dibandingkan dengan standar ASM adalah sebagai berikut:

Tabel 3. Rekapitulasi hasil penelitian dibandingkan standar ASM

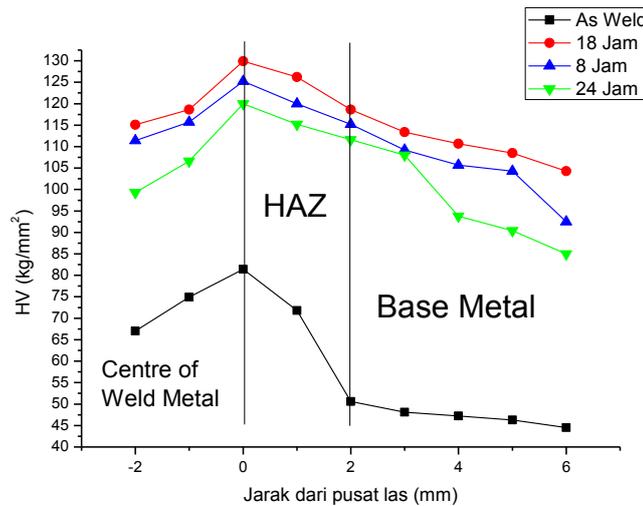
Keterangan	Temper	Tensile Strength	Yield strength	EL%
Standard ASM 6061	O	124	55	25
Base Metal	O	118,77	51,92	21,94
Standard ASM 6061	T6	310	273	12
PWHT 18 jam	T6	304,4	247,8	9,8

3.2 Pengujian Mikro Vickers

Pengujian kekerasan ini digunakan untuk mencari tingkat kekerasan dari material sehingga dari harga-harga kekerasan tersebut kita dapat mengetahui apakah material ductile atau brittle. Makin tinggi nilai kekerasan yang dimiliki oleh suatu material maka material tersebut makin brittle.

Pada spesimen penelitian ini, dilakukan pengujian kekerasan mikro Vickers dengan beban mayor 0,3 Kgf dan waktu pembebanan 12 detik. Pengujian menggunakan 4 spesimen, yaitu spesimen *as welded*, PWHT 8 jam, 18 jam dan

24 jam dimana setiap spesimen dilakukan penetrasi pada daerah las, HAZ dan logam dasar. Dari nilai kekerasan dapat dibuat grafik distribusi pengujian kekerasan yang dapat dilihat pada Gambar 7.



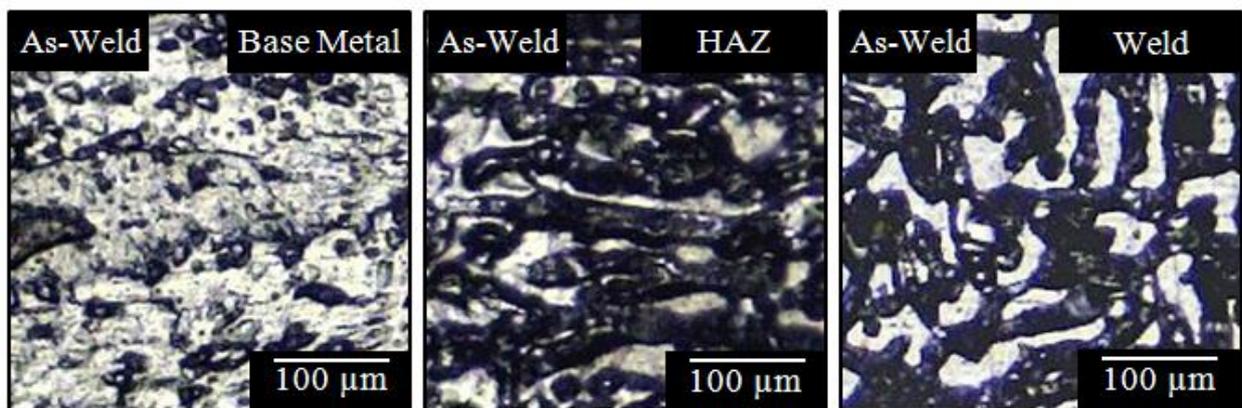
Gambar 7. Grafik distribusi pengujian kekerasan dari daerah pengelasan

Dari grafik Gambar 7 dapat dilihat bahwa nilai kekerasan dari aluminium tanpa PWHT memiliki nilai kekerasan terendah, baik di daerah las, HAZ maupun *base metal*. Terlihat pada grafik aluminium nilai kekerasan terendah terletak pada *base metal* yaitu 44,5 HV. Pada spesimen yang telah mengalami PWHT mengalami kenaikan nilai kekerasan yang signifikan. Dapat dilihat juga nilai kekerasan aluminium yang telah di PWHT mempunyai nilai kekerasan yang hampir seragam. Ini merupakan salah satu alasan mengapa aluminium yang telah di PWHT memiliki kekuatan tarik yang lebih besar dari pada aluminium tanpa PWHT. Pada pemanasan selama 24 jam memiliki nilai kekerasan terkecil di pusat las yaitu 85 HV. PWHT selama 8 jam memiliki nilai kekerasan yang tertinggi pada pusat las yaitu 120 HV.

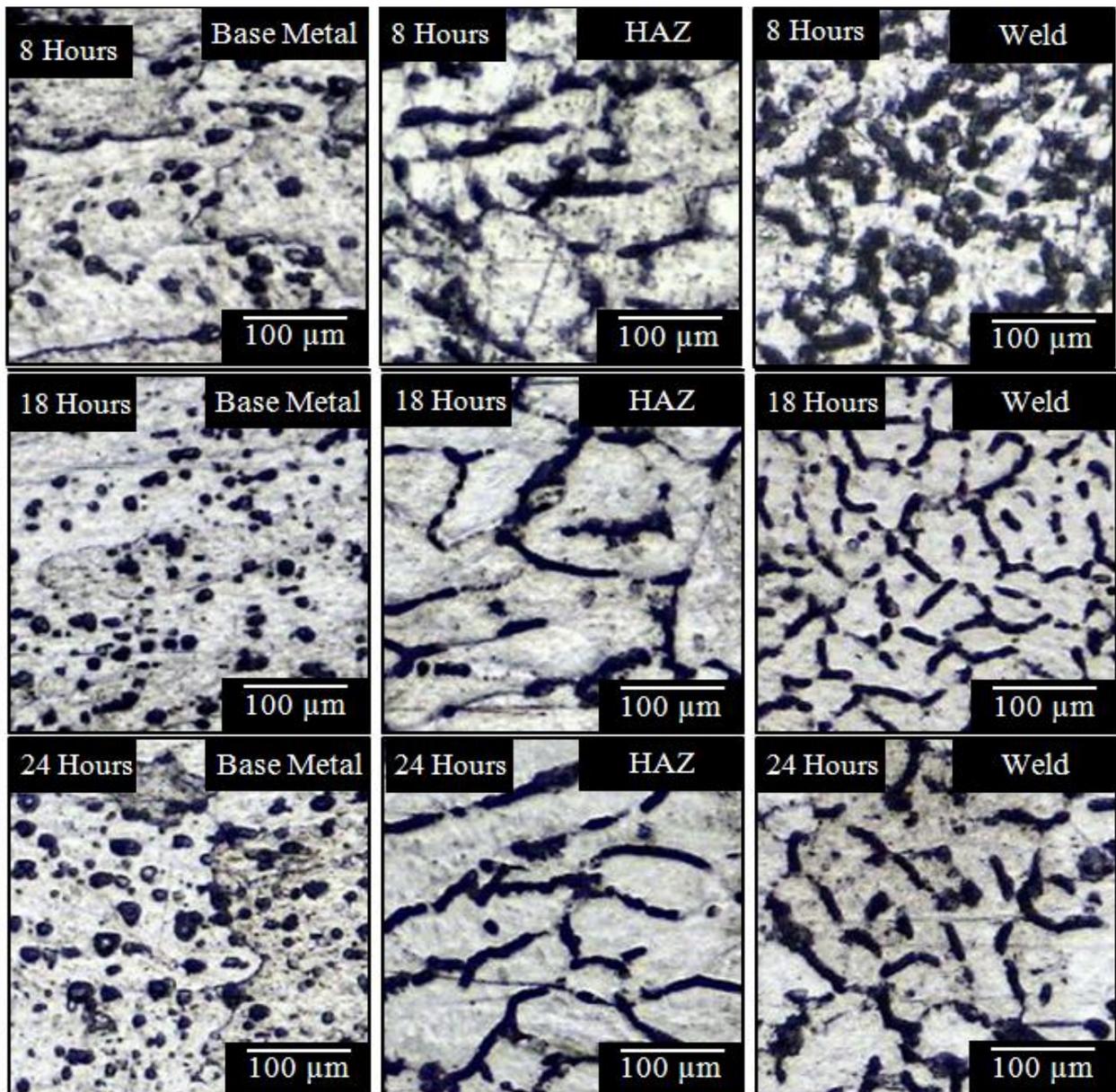
Dari hasil di atas dapat di simpulkan bahwa sifat mekanik dari pengelasan *transversal* untuk *aging* 18 jam adalah yang tertinggi dibandingkan dengan *aging* 8 jam dan 24 jam. Hal ini terjadi karena pada *aging* selama 24 jam mengalami proses *over-aging* [8]. Dapat ditarik kesimpulan bahwa proses *aging* selama 18 jam adalah yang terbaik karena mempunyai kekerasan yang paling tinggi dibanding *aging* 8 jam dan 24 jam dan perbedaan kekerasan yang tidak terlalu jauh antara *base metal*, HAZ dan daerah *weld*. Jika terjadi perbedaan yang sangat jauh diantara *base metal* dan *weld* maka memperbesar terjadinya keretakan pada daerah tersebut.

3.3 Pengujian Struktur Mikro

Untuk memperkuat data bahwa hasil pengujian kekerasan dan pengujian tarik itu benar. Maka dilakukan pengujian struktur mikro di Laboratorium Metalurgi Fisik Teknik Mesin Universitas Diponegoro yang bertujuan untuk mengetahui struktur mikronya. Hasil pengujian struktur mikro ditampilkan pada gambar 4.4 yang menggunakan perbesaran 100x. Pengambilan gambar pada pengujian struktur mikro di ambil pada daerah las, HAZ dan logam dasar.



Gambar 8. Struktur mikro dari material pengelasan Al 6061-O dan PWHT T6 perbesaran 100x



Gambar 8. Struktur mikro dari material pengelasan Al 6061-O dan PWHT T6 perbesaran 100x (lanjutan)

Dari Gambar 8 dapat dilihat struktur mikro dari Al 6061-O pengelasan yang belum di-PWHT dan yang sudah mengalami PWHT selama 8 jam, 18 jam, dan 24 jam pada daerah logam induk, HAZ dan daerah pengelasan yang ditampilkan dalam dua fasa yaitu aluminium *solid solution* yang ditunjukkan warna putih dan fasa Mg_2Si yang ditunjukkan dengan warna hitam. Kandungan Mg dan Si sangat mempengaruhi sifat mekanik dari aluminium jika kedua kandungan tersebut berada pada temperatur yang tepat, campuran ini akan membentuk Mg_2Si [7]. Terlihat pada Gambar 8 terdapat perbedaan struktur mikro pada daerah las, HAZ dan logam induk.

Struktur mikro di daerah logam dasar memiliki ukuran butir yang besar dan tidak tersebar merata, berbeda dengan yang mendapatkan perlakuan PWHT, ukuran butir pada Mg_2Si mulai mengecil dan tersebar merata. Pada logam dasar yang mendapatkan PWHT 8 jam mengalami under aging, sehingga ukuran butiran sangatlah kecil jika dibanding dengan yang lain, dan pada logam dasar yang mendapatkan PWHT 24 jam mengalami over aging, sehingga ukuran butiran Mg_2Si mulai membesar. Pada logam dasar 18 jam memiliki butiran yang sedang, jumlah butir yang banyak dan merata.

Pada Daerah HAZ logam akan mengalami pengaruh pemanasan akibat pengelasan dan mengalami perubahan struktur mikro disekitar daerah lasan. Daerah HAZ material *as-weld* terlihat memiliki butiran yang besar dibandingkan dengan HAZ yang mengalami PWHT. Sedangkan pada struktur mikro daerah HAZ dari PWHT 8 jam, 18 jam dan 24 jam terlihat ukuran yang lebih kecil dan jumlah Mg_2Si yang paling banyak dan tersebar sehingga daerah ini mengalami kenaikan nilai kekerasan akan tetapi menjadi daerah yang paling kritis dari sambungan lasan.

Pada daerah pengelasan besar ukuran butir pada *as-weld* lebih besar dibandingkan dengan pengelasan yang mengalami PWHT. Daerah pengelasan dengan perlakuan PWHT selama 18 jam memiliki ukuran butir yang sedang, tersebar merata dan pada butirannya saling terpisah-pisah tidak seperti *as-weld* yang memiliki ukuran besar saling menyatu dan tidak tersebar.

4. Kesimpulan

Material yang dilas dan dikenai perlakuan PWHT 8 jam, 18 jam dan 24 jam mengalami peningkatan tegangan luluh sebesar 310% (222,76MPa), 356% (247,84MPa) dan 366% (253,19MPa) dan tegangan max sebesar 140% (287,08MPa), 144% (304,42MPa) dan 145% (299,40MPa). Namun di sisi lain keuletannya menurun, terlihat dari elongation menurun sebesar 57%, 50% dan 63% dari spesimen yang tidak mendapatkan perlakuan PWHT. Material yang dilas dan dikenai perlakuan PWHT 8 jam, 18 jam dan 24 jam, pada daerah *weld metal*, HAZ, dan *base metal* memiliki rata-rata hardness value 89%, 97% dan 75% lebih tinggi dari material yang dilas tanpa dikenai perlakuan PWHT. Apabila nilai kekerasannya meningkat maka kekuatan tariknya pun meningkat dan ditandai dengan butiran yang halus, tersebar merata dan rapat pada foto struktur mikronya.

5. REFERENSI

- [1] Hawas, N.M., 2013, "Effect of Ageing Time on Adhesive Wear of AL Alloy AA6061-T6," Journal Kerbala University, Vol. 11 No.4.
- [2] Surdia, T., 1987. "Pengetahuan Bahan Teknik," Jakarta, Pradnya Paramit
- [3] Singh, G., Kumar., Singh, A., 2013, "Influence of Current on Microstructure and Hardness of Butt Welding Aluminium AA 6082 Using GTAW Process," International Journal of Research in Mechanical Engineering & Technology :1- 4
- [4] Callister Jr., William. D., 1994, "Material Science And Engineering," 3rd edition, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- [5] Krishnaa, Murali., Ramanaiah., 2011 "Effect of Post-Weld Heat Treatment on the Mechanical Properties of Friction Stir Welds of Dissimilar Aluminum Alloys," International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST). 0975-5462
- [6] S. Kou., 2003 "Welding Metallurgy," Willey Inter-Science, Canada.
- [7] Rajan, T.V., Sharma, G. P., Ashok, S., 1997, "Heat treatment principles and techniques," Prentice of India Private Limited.
- [8] Haryadi, D. G., Kim, S. J., 2011 "Influences of post weld heat treatment on fatigue crack growth behavior of TIG welding of 6013 T4 aluminum alloy joint (Part 1. Fatigue crack growth across the weld metal)," J Mech Sci Technol 25(9) : 1-10