

## PENGARUH *POST WELD HEAT TREATMENT* (PWHT) T6 PADA ALUMINIUM ALLOY 6061-O DAN PENGELASAN *LONGITUDINAL TUNGSTEN INERT GAS* TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO

Gunawan Dwi Haryadi<sup>1,a\*</sup>, Yusuf Umardani<sup>2,b</sup>, Agy Randhiko<sup>3,c</sup> and Agus Tri Hardjuno<sup>4,d</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Indonesia

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Indonesia

<sup>3</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Indonesia

<sup>4</sup>UPT Laboratorium Terpadu, Universitas Diponegoro, Indonesia

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

<sup>a</sup>[gunawan\\_dh@yahoo.com](mailto:gunawan_dh@yahoo.com), <sup>b</sup>[yusufumardani@yahoo.com](mailto:yusufumardani@yahoo.com), <sup>c</sup>[agyrandhiko@ymail.com](mailto:agyrandhiko@ymail.com),

<sup>d</sup>[juno\\_ags@yahoo.co.id](mailto:juno_ags@yahoo.co.id)

### Abstrak

Pengelasan merupakan salah satu penyebab terjadinya kegagalan pada sebagian besar komponen di dunia industri. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui kekuatan tarik, kekerasan dan struktur mikro dari Aluminium Alloy 6061-O dengan pengelasan *tungsten inert gas* (TIG) *longitudinal* yang di-*post weld heat treatment* (PWHT) atau tanpa PWHT. Penelitian ini menggunakan perlakuan panas T6. Hasil dari penelitian ini menunjukkan kekuatan tarik material mengalami peningkatan setelah di-PWHT dengan kekuatan tarik tertinggi yaitu PWHT 24 jam sebesar 389.492 MPa, lebih besar dari material PWHT 18 jam dan 8 jam yaitu masing-masing 378.021 MPa dan 365.294 MPa. Penurunan regangan pada material yang telah di-PWHT 8 jam, 18 jam, dan 24 jam masing-masing sebesar 5.9%, 2.4%, dan 3.2%. Nilai kekerasan mengalami peningkatan setelah di-PWHT. PWHT selama 8 jam memiliki nilai kekerasan tertinggi pada daerah *heat affected zone* (HAZ) yaitu sebesar 109.7 Hv. Pada Struktur mikro terlihat adanya perbedaan struktur butir, material tanpa PWHT memiliki ukuran butir yang lebih besar dibanding material yang di-PWHT. Mg<sub>2</sub>Si banyak terbentuk pada material yang telah di-PWHT. Proses PWHT T6 meningkatkan kekuatan tarik dan nilai kekerasan, tetapi menurunkan sifat elastis dari material. Material PWHT 8 jam memiliki sifat mampu bentuk yang paling baik, sedangkan kekuatan material tertinggi yaitu PWHT selama 24 jam.

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

### 1. Pendahuluan

Aluminium paduan 6061 banyak digunakan di dunia industri otomotif seperti rangka kapal, perpipaan dan industri pesawat terbang. Tipe aluminium ini mengandung magnesium (Mg) dan silika (Si) sebagai elemen paduan utama [1].

Saat ini pengelasan TIG merupakan salah satu metode yang sering digunakan, tidak hanya dapat mengelas semua logam untuk keperluan industri, tetapi juga dapat menghasilkan kualitas las lebih baik dibanding las gas [2].

Pada daerah pengelasan (WM) dan daerah terpengaruh panas (HAZ) memiliki dampak energi yang lebih rendah dan keuletan yang rendah daripada logam dasar (BM). Secara umum, struktur yang dilas memiliki sifat mekanik yang kurang baik daripada logam dasarnya [3]. Untuk mengatasi masalah tersebut material yang telah dilas dilakukan perlakuan panas, yaitu untuk

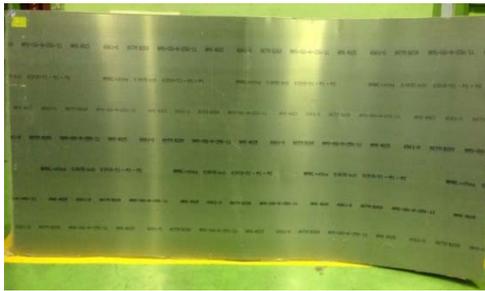
meningkatkan sifat mekanik dan juga mengurangi tegangan sisa. Perlakuan panas untuk aluminium dilakukan dengan *solution heat treatment*, diikuti dengan *quenching*, dan *aging*, untuk temperatur tertentu dengan pendinginan *natural* di udara [4].

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

### 2. Material dan Metodologi

Material yang digunakan yaitu plat aluminium paduan 6061-O dengan tebal 1.6 mm. Untuk lebih jelas lihat pada Gambar 1.

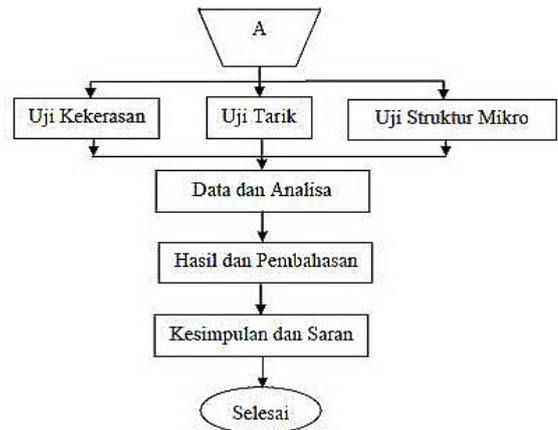
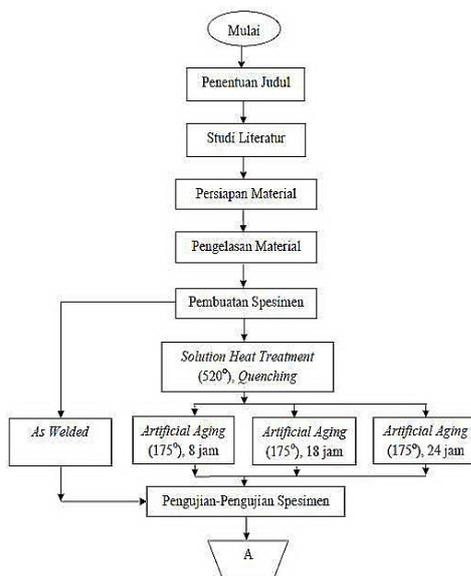
Aluminium ini pada umumnya digunakan pada industri pesawat terbang.



**Gambar 1.** Plat aluminium paduan 6061-O

Proses pengelasan spesimen menggunakan ER 4043. Untuk komposisi kimia aluminium 6061-O dan filler ER 4043 dapat dilihat pada Tabel 2. Parameter pengelasan dapat dilihat pada Tabel 1.

Dalam penelitian ini spesimen yang digunakan untuk pengujian adalah logam induk Al 6061-O. Sebelum dilakukan pengujian, material diberi perlakuan panas T6. Dengan temperatur *solution* 520°C selama 1 jam, kemudian di *quen*ch air dingin. Setelah itu dilakukan *artificial aging* dengan temperatur 175°C 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.



**Gambar 2.** Diagram alir penelitian

**Tabel 1.** Parameter pengelasan TIG

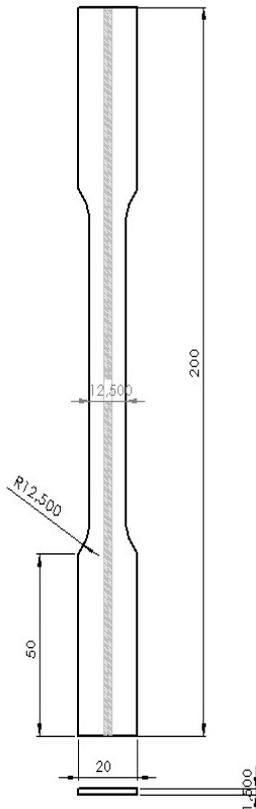
| Parameter                          | Nilai         |
|------------------------------------|---------------|
| <i>Welding machine</i>             | Miller        |
| <i>Tungsten elektroda diameter</i> | 1,6 mm        |
| <i>Filler rod / wire diameter</i>  | 2,4 mm        |
| <i>Heat input</i>                  | 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°C – 640°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      |

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*.

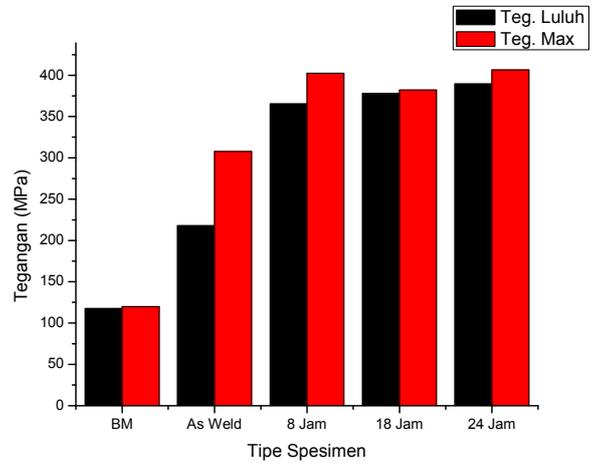
Untuk pengujian kekerasan dilakukan pada daerah logam induk (BM), daerah terpengaruh panas (HAZ), logam las (WM) dengan jarak indentasi 1mm, untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada Gambar 4. Pengujian kekerasan menggunakan standar ASTM E384 dengan waktu penekanan selama 12 detik dan beban mayor 0,3 KgF.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

**Tabel 2.** Komposisi kimia AA 6061-O dan filler ER 4043 (Wt%)

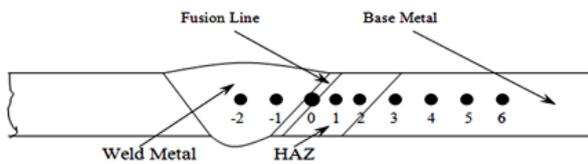
| Material  | Al    | Si   | Fe  | Cu   | Mn    | Mg   | Cr   | Zn   | Ti   | Lainnya |
|-----------|-------|------|-----|------|-------|------|------|------|------|---------|
| AA 6061-O | 97.32 | 0.69 | 0.5 | 0.22 | 0.11  | 0.86 | 0.15 | 0.11 | 0.05 | 0.02    |
| ER 4043   | Bal   | 4.8  | 0.2 | 0.02 | <0.01 | 0.01 | -    | 0.02 | 0.01 | <0.15   |



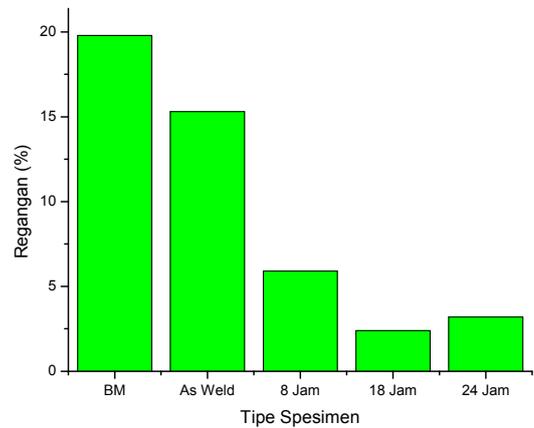
**Gambar 3.** Spesimen uji tarik ( standar ASTM B-557-06)



**Gambar 5.** Grafik kekuatan tarik material pengelasan dan PWHT T6



**Gambar 4.** Distribusi kekerasan pada daerah pengelasan



**Gambar 6.** Grafik regangan material pengelasan dan PWHT T6

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Hasil Pengujian Tarik

Dari pengujian tarik yang telah dilakukan didapatkan data tegangan luluh ( $\sigma_y$ ), tegangan maksimum ( $\sigma_u$ ), dan regangan ( $\epsilon$ ) dari logam induk aluminium, *as welded*, PWHT 8 jam, PWHT 18 jam dan PWHT 24 jam. Hasil pengujian tarik dapat ditunjukkan pada Gambar 5 dan Gambar 6

Pada Gambar 5 menunjukkan logam induk material mempunyai kekuatan luluh 117.647 MPa dan kekuatan tarik maksimum 119.912 MPa, spesimen pengelasan tanpa PWHT memiliki kekuatan luluh 217.865 MPa dan kekuatan tarik maksimum 307.850 MPa, ini menunjukkan bahwa ada peningkatan sebesar 46% pada nilai kekuatan. Dari tiga spesimen pengelasan yang telah di PWHT, spesimen pengelasan yang di-PWHT selama 8 jam menghasilkan kekuatan luluh 365.294 MPa dan kekuatan tarik maksimum 402.503 MPa. yaitu 40.35% lebih tinggi dari spesimen pengelasan tanpa PWHT. Pada

spesimen pengelasan yang di-PWHT selama 18 jam menghasilkan kekuatan luluh 378.021 MPa dan kekuatan tarik maksimum 382.145 MPa, yaitu 42.37% lebih tinggi dari spesimen pengelasan tanpa PWHT. Spesimen pengelasan PWHT selama 24 jam menghasilkan nilai kekuatan yang tertinggi yaitu 389.492 MPa dan kekuatan tarik maksimum 406.692 MPa, yaitu 44.06% lebih tinggi dari spesimen pengelasan tanpa PWHT.

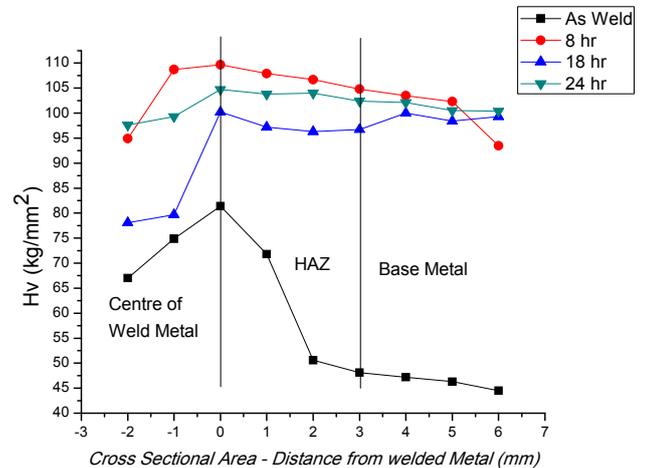
Persentase regangan dari logam induk dan logam yang telah di-PWHT ditampilkan pada Gambar 6. Menunjukkan regangan dari logam induk sebesar 19.8% dan spesimen pengelasan tanpa PWHT memiliki regangan 15.3%. Dapat dilihat ada pengurangan keuletan dari material karena pengaruh pengelasan. Material pengelasan dengan PWHT 8 jam, 18 jam dan 24 jam masing-masing memiliki regangan 5.9%, 2.4% dan 3.2%. Dari hasil di atas spesimen pengelasan dengan PWHT 8 jam mempunyai regangan paling tinggi dibandingkan dengan PWHT 18 jam dan 24 jam. Dapat disimpulkan dari hasil pengujian tarik pada aluminium paduan 6061-O pengelasan bahwa PWHT menurunkan keuletan material, tetapi dapat meningkatkan nilai kekuatan tarik. Dari hasil pengujian tarik material tersebut juga didapatkan material PWHT 8 jam mempunyai sifat *formability* yang paling baik dibanding dengan PWHT 18 dan 24 jam. Dapat dikatakan material PWHT 8 jam merupakan material yang tangguh. Pada material yang tidak mengalami PWHT nilai kekuatan tarik dan regangannya sangat kecil, ini membuktikan masih ada tegangan sisa pada material yang tidak mengalami perlakuan panas [6].

### 3.2 Hasil uji Kekerasan

Logam dasar dapat dilihat pada grafik nomor 4-6, daerah HAZ ditunjukkan nomor 1-3 dan daerah las ditunjukkan nomor -2-0. Untuk lebih jelasnya lihat Gambar 7.

Dari Gambar 7 terlihat nilai kekerasan dari aluminium tanpa PWHT memiliki nilai kekerasan terendah, baik di daerah las, HAZ maupun *base metal*. Pada grafik tersebut nilai kekerasan terendah terletak pada *base metal* yaitu 44,6 HV material *as welded*. Untuk spesimen yang telah di-PWHT mengalami kenaikan nilai kekerasan yang signifikan. Terlihat 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 daripada aluminium tanpa PWHT. Pada PWHT 18 jam memiliki nilai kekerasan terkecil di pusat las yaitu 79,7 HV. PWHT selama 8 jam memiliki nilai kekerasan yang tertinggi pada pusat las yaitu 108,7 HV.



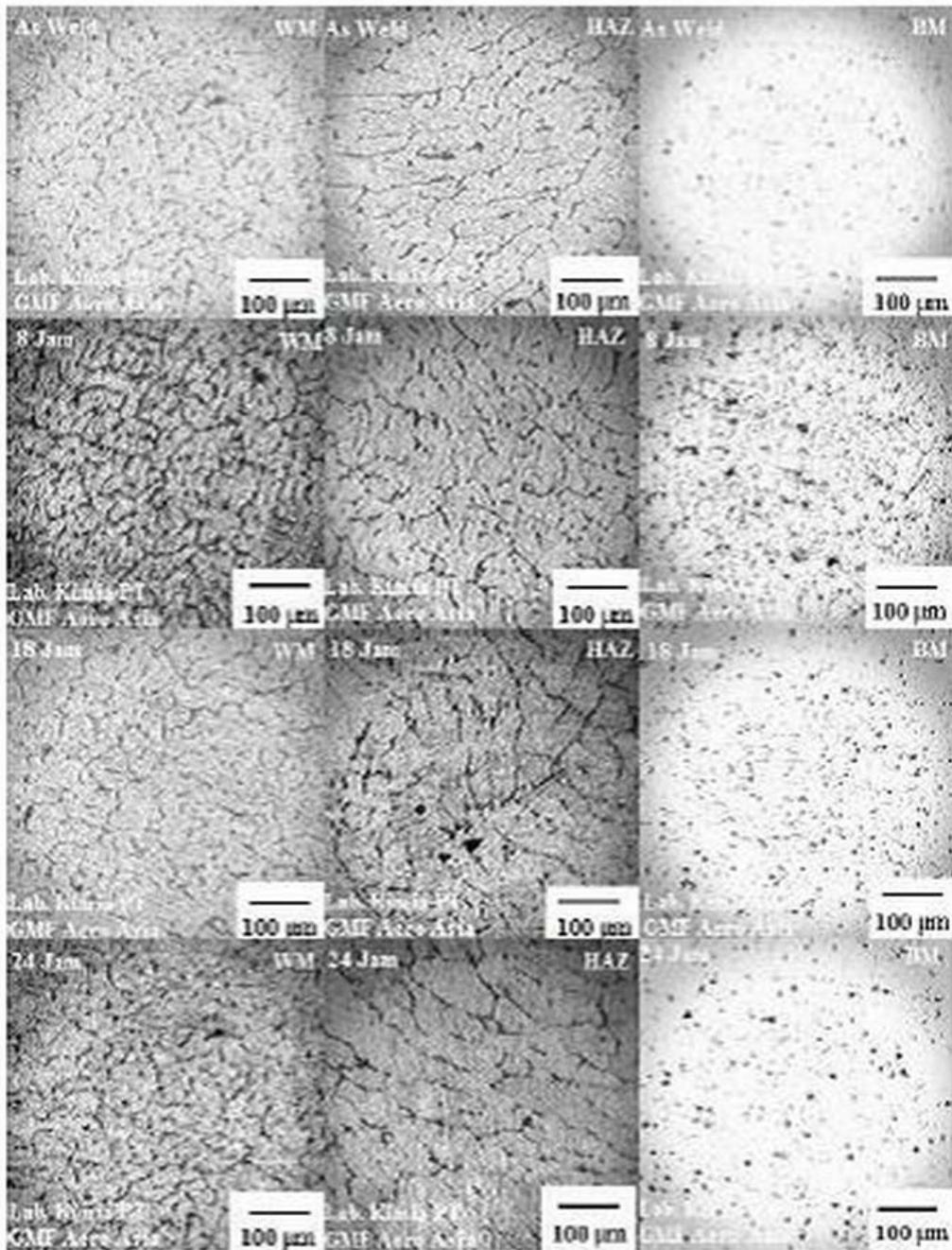
**Gambar 7.** Distribusi pengujian kekerasan dari daerah pengelasan sampai logam dasar

### 3.3 Microstructure

Untuk memperkuat data bahwa hasil pengujian kekerasan dan pengujian tarik itu benar. Maka dilakukan pengujian struktur mikro yang bertujuan untuk mengetahui struktur mikronya. Hasil pengujian struktur mikro ditampilkan pada Gambar 8 dengan menggunakan perbesaran 100x. Pengambilan gambar pada pengujian struktur mikro di ambil pada daerah las, HAZ dan logam dasar. Pengujian struktur mikro menggunakan *Keller's etching* sesuai dengan ASTM E 407.

Hubungan antara mikro struktur dan kekerasan adalah untuk mengidentifikasi presipitasi yang terjadi, perubahan sifat mekanik seperti keuletan pada material uji [10].

Dari Gambar 8 terlihat struktur mikro dari Al 6061-O pengelasan tanpa PWHT dan yang sudah mengalami PWHT selama 8 jam, 18 jam, dan 24 jam pada daerah logam dasar, HAZ dan daerah pengelasan yang ditampilkan dalam dua fasa yaitu aluminium *solid solution* yang ditunjukkan warna abu-abu dan fasa  $Mg_2Si$  yang ditunjukkan dengan warna hitam [9]. Terlihat pada Gambar 8 terdapat perbedaan struktur mikro pada daerah las, HAZ dan logam induk.



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

Kandungan Mg dan Si sangat mempengaruhi sifat mekanik dari aluminium jika kedua kandungan tersebut berada pada temperatur yang tepat, campuran ini akan membentuk  $Mg_2Si$  [5].

Dapat dilihat pada daerah pengelasan besar ukuran butir seragam pada setiap daerah pengelasan. Pada daerah las tanpa PWHT ukuran rata-rata butir masih sangat besar serta lebih renggang, sedangkan pada material yang mengalami PWHT selama 8 jam, 18 jam dan 24 jam ukuran butir pada daerah pengelasan menjadi lebih kecil daripada daerah las tanpa PWHT,

$Mg_2Si$  yang tampak pada PWHT 8 jam lebih jelas terlihat dibanding dengan PWHT 18 dan 24 jam serta material tanpa PWHT, sehingga sangat mempengaruhi sifat mekanik pada material yang mengalami PWHT selama 8 jam [8].

Pada daerah HAZ material tanpa PWHT terlihat ukuran butir lebih besar dibanding dengan HAZ yang mengalami PWHT 8, 18 dan 24 jam. Struktur mikro dari PWHT 8 jam, 18 jam dan 24 jam terlihat pada gambar paling banyak mengandung  $Mg_2Si$ . Sehingga pada daerah ini

mengalami kenaikan nilai kekerasan yang sangat signifikan.

Daerah logam dasar merupakan daerah yang paling sedikit mengandung Mg<sub>2</sub>Si, Namun setelah mendapat PWHT, material tersebut memebentuk Mg<sub>2</sub>Si. Pada Gambar 8 logam induk material pengelasan tanpa PWHT sedikit mengandung Mg<sub>2</sub>Si bahkan hampir tidak ada karena pada daerah ini material tidak terpengaruh panas sama sekali. Sementara pada logam induk material PWHT 8 jam terlihat paling banyak menghasilkan Mg<sub>2</sub>Si, dibanding dengan logam dasar PWHT 18 jam dan 24 jam.

#### 4. Kesimpulan

Dari penelitian pengaruh PWHT dan arah pengelasan *longitudinal* menggunakan las TIG terhadap sifat mekanik dan struktur mikro aluminium 6061-O didapatkan kesimpulan :

- 1) Nilai kekuatan tarik material mengalami peningkatan setelah mengalami proses PWHT. Nilai kekuatan luluh tertinggi yaitu pada material PWHT selama 24 jam sebesar 389.492 MPa dan tegangan maksimal 406.692 MPa.
- 2) Nilai kekerasan cenderung mengalami peningkatan setelah mengalami PWHT. Material pengelasan yang di-PWHT 8 jam memiliki nilai kekerasan yang paling tinggi pada daerah HAZ yaitu sebesar 109.7 Hv.
- 3) Struktur mikro material tanpa PWHT memiliki ukuran butir yang lebih besar dari material tanpa PWHT. Mg<sub>2</sub>Si banyak terbentuk pada material yang diberi perlakuan panas.
- 4) Proses pengelasan *longitudinal* dapat meningkatkan tegangan luluh dan tegangan maksimal, Namun menurunkan regangan material.

Dari penelitian ini material yang mempunyai sifat mekanik yang paling baik adalah material pengelasan dengan PWHT selama 8 jam, karena selain mempunyai nilai kekerasan tertinggi, juga memiliki elastisitas yang paling baik.

#### 5. Referensi

- [1] Ahmad, R., Bakar, M.A., *Effect of a Post-weld heat treatment on the mechanical and microstructure properties of AA6061 joints welded by the gas metal arc welding cold metal transfer method.* J Mater Des 2011;32:5120-26
- [2] Manti, R. D. K. Dwivedi and A. Agarwal,

*Pulse TIG welding of two Al-Mg-Si alloys,* ASM International, (5) 2008;17:667-673.

- [3] Trudel, Alexandre., Martin, Levesque., Brochu, Myriam. *Microstructural effects on the fatigue crack growth resistance of a stainless steel CA6NM weld,* Engineering Fracture Mechanics S0013-7944(13)00368-8
- [4] M. Temmar, M. Hadji, T. Sahraoui. *Effect of post-weld aging treatment on mechanical properties of Tungsten Inert Gas welded low thickness 7075 aluminium alloy joints.* Matdes 2011;32:3532-6 .
- [5] T.V. Rajan, G.P. Sharma, Ashok Sharma, 1997. *Heat treatment principles and techniques, Prentice of India Private Limited.*
- [6] S. Kou, *Welding metallurgy,* Willey Inter-Science, Canada 2003.
- [7] Haryadi, Dwi Gunawan., Kim, Seon Jin., *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 2011 25(9) : 1-10.
- [8] Y. L. Liu and S. B. Kang, *The solidification process of Al-Mg-Si alloys,* J. Mater. Sci., 32 (1997) 1443-1447.
- [9] Ma T, Den Ouden G. *Softening of Al-Zn-Mg aluminium alloys due to welding.* J Mater Sci Eng A 1999;A 266:198–204.
- [10] Edwards GA, Stiller K, Dunlop GL, Couper MJ. *The precipitation sequence in Al-Mg-Si alloys.* Acta Mater 1998;46:3893–904.