

## PENGARUH TEMPERATUR PWHT TERHADAP STRUKTUR MIKRO, UJI KEKERASAN DAN UJI TARIK PADA PROSES PENGELASAN GAS METAL ARC WELDING (GMAW) ALUMINIUM 5083

Adhi Novianto<sup>1</sup>, Ipick Setiawan<sup>2</sup>, Agus Pramono<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Teknik Mesin, Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

<sup>3</sup>Teknik Metalurgi, Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa  
adhinovianto97@gmail.com

### Abstract

PWHT (Post Weld Heat Treatment) is one way to improve microstructure changes and can increase the tensile strength and hardness of the welding process. The purpose of this study was to determine changes in microstructure, hardness values, and tensile test values with temperature variations of PWHT and without PWHT. The finished metal is then given a PWHT temperature variation on aluminum alloy 5083 with a temperature variation of 150 ° C, 250 ° C, 350 ° C with a heating rate of 100 ° C and heating of 80 ° C for 1 hour and a holding time of 1 hour according to The variation that has been set is continued with cooling 30 ° C for 8 hours of natural cooling in the chamber furnace machine. The results of this study indicate that changes in the microstructure due to the higher temperature of the PWHT process will reduce the concentration of porosity formed, which has a correlation with the resulting tensile strength. For the results of the tensile strength from the process without PWHT using temperature variations, the PWHT process has increased for that by doing this PWHT process greatly affects the tensile strength. The highest tensile strength is at the PWHT temperature variation of 350 ° C (263.65 MPa) compared to specimens without PWHT (253.52 MPa). Meanwhile, the hardness value is not very influential by using temperature variations of PWHT or without PWHT, the hardness value using temperature variations of PWHT 150 and without PWHT in the weld metal area (74.4 HV).

Keywords: Aluminium 5083, GMAW, PWHT, Microstructure, Tensile strength

### Abstrak

Perlakuan PWHT (*Post Weld Heat Treatment*) adalah salah satu cara dalam memperbaiki perubahan struktur mikro serta dapat meningkatkan kekuatan tarik dan kekerasan hasil proses pengelasan. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui perubahan struktur mikro, nilai kekerasan, serta nilai uji tarik dengan variasi temperatur PWHT dan tanpa PWHT. Hasil logam yang selesai dilas kemudian diberikan variasi temperatur PWHT pada aluminium alloy 5083 dengan variasi temperatur 150°C, 250°C, dan 350°C dengan laju pemanasan 100°C dan *Heating* sebesar 80°C selama 1 jam dan *holding time* 1 jam sesuai dengan variasi yang sudah ditetapkan dilanjutkan dengan *cooling* 30°C selama 8 jam proses pendinginan natural di dalam mesin chamber furnace. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tingginya temperatur yang digunakan maka akan terjadinya perubahan struktur mikro yang mengakibatkan penurunan konsentrasi pada porositas yang terbentuk. Sedangkan untuk kekuatan tariknya rata-rata mengalami peningkatan. Seiring peningkatan nilai kekuatan tariknya maka rata-rata nilai kekerasannya semakin menurun. Kekuatan tarik tertinggi berada pada variasi temperatur PWHT 350°C (263,65 MPa) dibandingkan dengan spesimen tanpa PWHT (253,52 MPa). Sedangkan untuk nilai kekerasan tidak terlalu berpengaruh dengan menggunakan variasi temperatur PWHT maupun tanpa PWHT. Nilai kekerasan dengan menggunakan variasi temperatur PWHT 150 dan tanpa PWHT pada daerah weld metal (74,4 HV).

Kata kunci: Aluminium 5083, GMAW, PWHT, Struktur mikro, Kekuatan tarik

## 1. Pendahuluan

Dalam industri perkapalan aluminium 5083 banyak digunakan sebagai bahan dasar untuk bahan konstruksi dalam proses pembuatan body kapal. Apabila aluminium tipe 5083 dilakukan dengan cara proses pengelasan, maka sambungan las paduan aluminium tipe 5083 akan terjadi sambungan las yang masih kurang sempurna pada beberapa bagian komponen konstruksi ini dapat dilihat dari kekuatan dan spesifikasinya [1]. Pada pengelasan terjadi perubahan sifat mekanik, terutama pengelasan pada paduan Aluminium. Dari beberapa paduan Aluminium, paduan Al-Mg adalah paduan Aluminium yang banyak dipakai untuk konstruksi laut. Karena paduan ini mempunyai sifat lebih tahan korosi dari air laut dibandingkan dengan paduan Aluminium yang lain [2]. Dari berbagai jenis pengelasan yang bisa digunakan untuk pengelasan aluminium adalah pengelasan GMAW. Pengelasan GMAW (*Gas Metal Arc Welding*), merupakan salah satu cara proses pengelasan dimana gas akan dihembuskan ke bagian yang akan di las untuk melindungi busur dan logam yang akan mencair terhadap atmosfer [3]. Kekuatan tarik pada logam pengelasan dipengaruhi oleh panas yang diberikan pada proses pengelasan. Perlakuan PWHT (*Post Weld Heat Treatment*) merupakan salah satu cara untuk memperbaiki struktur mikro serta meningkatkan kekuatan tarik logam hasil proses pengelasan dan dapat menghilangkan tegangan sisa karena panas yang diserap oleh material [4]. Struktur mikro pada umumnya mengamati ukuran butiran, bentuk butiran dan larutan padat yang terbentuk, apabila larutan padat yang tersebar merata maka nilai kekuatan tariknya pun akan semakin baik [5].

## 2. Metode Penelitian

Dalam metode penelitian ini terdapat beberapa tahapan yang harus dilalui mulai dari menyiapkan bahan-bahan yang akan digunakan pada proses pengelasan sampai proses pengujian. Pertama yang harus dilakukan yaitu menyiapkan bahan aluminium 5083 setelah itu dilanjutkan dengan membuat kampuh V dengan sudut 60°. Selanjutnya melakukan proses pengelasan GMAW dengan posisi pengelasan 4G dengan ketebalan plat 10 mm menggunakan filler ER-5356, hasil pengelasan GMAW pada aluminium 5083 akan di beri perlakuan PWHT dan non PWHT dengan temperatur 150°C, 250°C, 350°C dengan laju pemanasan 100°C dan Heating sebesar 80°C selama 1 jam dan holding time 1 jam sesuai dengan variasi yang sudah di tetapkan dilanjutkan dengan cooling 30°C selama 8 jam proses pendinginan natural di dalam mesin *chamber furnace*.

### 2.1. Aluminium 5083

Aluminium 5083 merupakan paduan aluminium dengan magnesium (Mg), paduan ini memiliki sifat tidak dapat diperlakukan-panas, tetapi memiliki sifat baik dalam daya tahan korosi terutama korosi oleh air laut dan sifat mampu las Al-Mg banyak dipakai untuk

konstruksi umum termasuk konstruksi kapal. Pada perkapalan biasanya aluminium digunakan dalam bagian konstruksi bagian tangki, seperti tangki air tawar maupun tangki bahan bakar [6]. Aluminium seri 5083 termasuk dalam golongan paduan aluminium seri 5xxxx, yaitu Al-Mg. Kandungan komposisi kimia pada aluminium 5083 dapat dilihat pada Tabel 1.

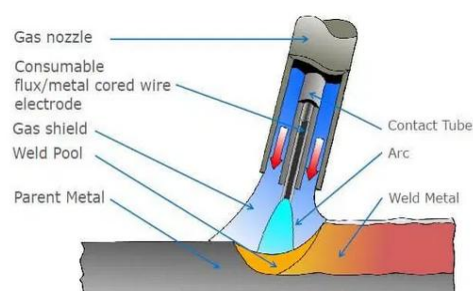
Tabel 1. Kandungan Komposisi Kimia pada AA 5083

Material	Massa							
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
AA 5083	0,40	0,40	0,10	0,40-1,0	4,0-4,9	0,05-0,25	0,25	0,15

Aluminium 5083 dikenal dengan performanya yang bagus pada kondisi berbagai lingkungan, ketahanan terhadap serangan air laut dan lingkungan industri kimia serta aluminium 5083 juga memiliki kekuatan yang tinggi setelah welding.

### 2.2 Proses GMAW

*Gas Metal Arc Welding* (GMAW) adalah proses pengelasan busur listrik dengan menggunakan elektroda (kawat las) yang mengalir terus menerus dengan kecepatan yang konstan dan gas pelindung untuk mencegah terjadinya kontaminasi antara busur las dengan udara luar. Pengelasan dengan las GMAW menggunakan kawat las yang mengalir secara terus menerus dengan kecepatan yang konstan karena di atur melalui suatu mekanisme yang dinamakan "*wire feeder*". Proses pengelasan GMAW dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Proses Pengelasan GMAW

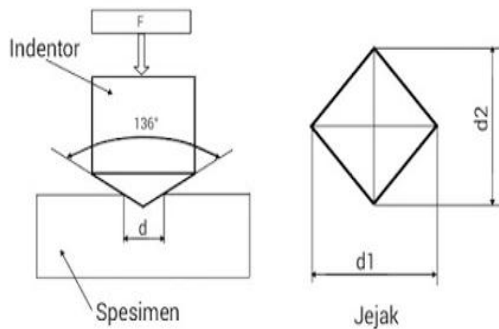
### 2.3. Proses PWHT (*Post Weld Heat Treatment*)

*Post Weld Heat Treatment* (PWHT) merupakan salah satu proses heat treatment yang tujuan utamanya untuk menghilangkan tegangan sisa pada hasil *welding*. Dampak dari tegangan sisa ini material akan menjadi lebih keras akan tetapi ketangguhannya kecil. Ini tentu sifat yang tidak diharapkan. Oleh sebab itu, material harus dikembalikan ke sifat semula dengan cara pemanasan dengan suhu dan tempo waktu (holding time) tertentu. Adapun prinsip-prinsip dasar dalam proses perlakuan panas setelah pengelasan yakni sebagai berikut:

- 1 *Heating* adalah proses pemanasan sampai di atas atau di bawah temperatur kritis suatu material.
- 2 *Holding* merupakan menahan material pada temperatur pemanasan untuk memberikan kesempatan adanya perubahan struktur mikro.
- 3 *Cooling* adalah material pada temperatur pemanasan untuk memberikan kesempatan adanya perubahan struktur mikro.

#### 2.4. Pengujian Kekerasan

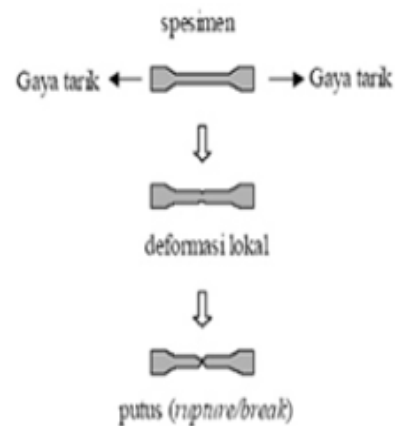
Metode pengujian kekerasan yang digunakan adalah metode *Vickers*. Pada pengujian *Micro Vickers* gaya yang diberikan secara perlahan, tanpa terjadinya tubrukan, dan ditahan selama 5 sampai dengan 15 detik. Sebelum dilakukan proses pengujian material dipotong dan dimounting, selanjutnya spesimen dihaluskan dengan ampelas. Setelah permukaan beda uji rata, langkah selanjutnya yaitu melakukan pengujian dengan alat *Vickers hardness tester*. Skema uji kekerasan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema Pengujian *Vickers Hardness*

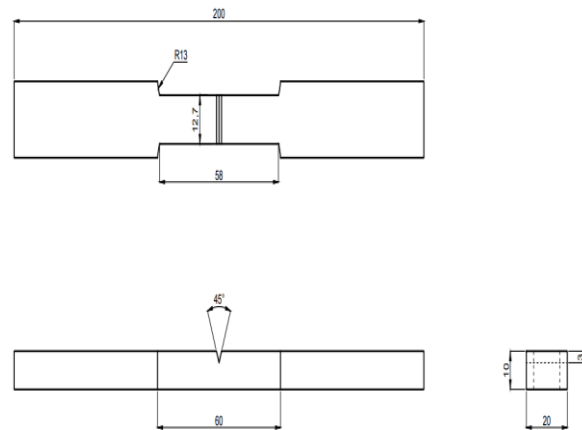
#### 2.5. Pengujian Tarik

Standar yang digunakan pada pengujian tarik ini yaitu standar ASTM A370. Material yang akan diuji diukur panjang, lebar, dan tebal awal setelah itu menggunakan *Hand lever* (tarik atau tekan) pada posisi tarik dengan menggerakkan tuas yang berfungsi sebagai persneling pada posisi lambat untuk pengujian. Spesimen dipasang pada *damping head* serta memastikan batang uji tercekam secara baik pada *upper* dan *lower damping head*. Mesin hidrolis dihidupkan sehingga *pilot lamp* menyala, mengamati dan membaca besarnya gaya tarik pada skala saat yield maksimum dan patah. Melepas benda kerja dari pencekam, mengambil gambar spesimen setelah patah langkah selanjutnya yaitu mengukur panjang batang uji setelah patah. Perubahan panjang pada proses uji tarik dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Perubahan Panjang Material pada Proses Uji Tarik

Pada proses pengujian tarik pada penelitian ini adalah menggunakan standar ASTM A370. Dimensi spesimen uji Tarik dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Spesimen Uji Tarik Standar ASTM A-370

#### 2.6. Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan untuk proses pengelasan A5083 ini aluminium alloy tipe 5083 dan bahan-bahan yang digunakan untuk uji kekerasan Vickers yaitu: mesin uji kekerasan *Vickers*, indenter intan piramida, mikroskop pengukur, kertas ampelas, benda uji, serta *Vickers test block*. Untuk alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu: mesin las GMAW, tang ampere, mesin gas cutting, mesin gerinda, palu, meja las, *welding gauge*, *stopwatch*, kawat las, sarung tangan, pelindung mata, *form run sheet*, serta alat tulis. Alat ukur proses pengelasan yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Alat ukur proses pengelasan

### 3. Hasil dan Pembahasan

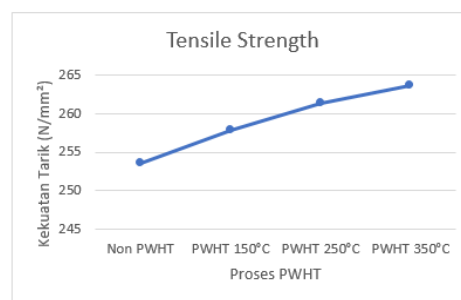
#### 3.1. Data Hasil Pengujian Tarik

Dari proses pengujian tarik yang telah dilakukan, didapatkan data seperti pada Tabel 2. Data hasil pengujian tarik menunjukkan bahwa poses PWHT (*Post Weld Heat Treatment*) dan tanpa PWHT mempengaruhi terhadap kekuatan tarik (*Tensile Strength*) dari material hasil pengelasan aluminium alloy 5083. Dan berdasarkan data hasil pengujian maka diperoleh nilai kekuatan tarik seperti grafik pada Gambar 6 dan pada Tabel 2.

Tabel 2. Tabel Hasil Pengujian Tarik Pada Aluminium Alloy 5083

Titik	Tensile Strength (Mpa)			
	Non PWHT	PWHT 150°C	PWHT 250°C	PWHT 350°C
Ts.1	252,79	256,39	260,06	262,06
Ts.2	253,5	257,61	261,65	263,59
Ts.3	254,28	259,65	262,24	265,31
Average	253,523	257,883	261,3167	263,65

Dari tabel 2 dapat dilihat hasil pengujian Tarik pada material aluminium alloy 5083 baik dilakukannya proses PWHT dengan temperatur yang berbeda-beda maupun tanpa PWHT mengalami kenaikan. Namun untuk nilai *tensile strength* yang di dapat ini masih termasuk kedalam standar ASME sec.9 untuk material aluminium alloy 5083.



Gambar 6. Grafik Rata-Rata Uji Tarik pada masing-masing proses PWHT

Dari gambar 6 dapat dilihat bahwa rata-rata dengan proses PWHT pada temperatur 350°C memiliki nilai kekuatan tarik yang tertinggi dibandingkan dengan proses PWHT pada temperatur 150°C, 250°C, dan tanpa proses PWHT. Secara umum, nilai kekuatan tarik meningkat dari kondisi awal atau tanpa perlakuan PWHT. Hal ini dikarenakan proses PWHT dapat merubah struktur mikro pada logam hasil pengelasan yang berpengaruh terhadap meningkatnya nilai kekuatan tarik yang dihasilkan [4]. Berdasarkan gambar 6, nilai kekuatan tarik maksimum terjadi pada temperatur PWHT 350°C dengan nilai kekuatan tarik sebesar 263,653 Mpa, sedangkan pada temperatur PWHT 150°C dan 250°C sebesar 257,88 Mpa dan 261,316 Mpa. Dengan demikian, semakin meningkatnya temperatur PWHT maka nilai kekuatan tarik akan semakin meningkat pada material aluminium alloy 5083. Sehingga dari gambar 6 dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin tinggiya temperatur pada proses PWHT maka nilai kekuatan tarik (*tensile strength*) pada material aluminium alloy 5083 semakin meningkat.

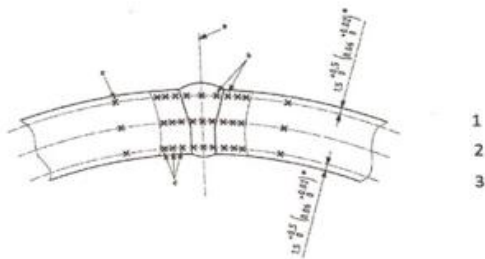
#### 3.2. Data Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan yakni kemampuan suatu bahan yang dapat menahan tusukan (penetrasi) benda yang lebih keras dari luar, sehingga dapat dikatakan bahwa pengujian kekerasan adalah kemampuan untuk menahan deformasi plastis. Standar yang digunakan dalam pengujian kekerasan ini adalah ASTM E92 tahun 2017 dengan metode *Micro Vickers*. Nilai pengujian kekerasan dapat dilihat pada Tabel 3.



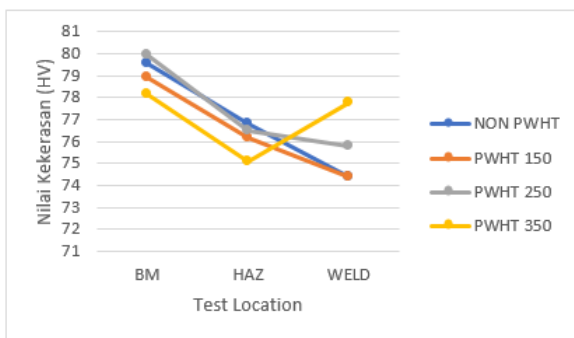
Tabel 3. Tabel Data Nilai Uji Kekerasan Metode Micro Vickers pada Alumunium Alloy 5083

Material Identification	Titik	Test Location	Vickers Hardness Number (HV) Test Load Applied 10 Kgf			
			Non PWHT	1 (PWHT 150°C)	2 (PWHT 250°C)	3 (PWHT 350°C)
Alumunium Alloy 5083	1	BM	83,1	85,5	84,8	82,4
	2		78,5	77,9	80	75,4
	3		77	73,3	75	76,6
	Rata-Rata		79,533333	78,9	79,93333333	78,13333333
	1	HAZ	80,1	76,8	77,9	73,4
	2		76,9	74,2	74,6	77,1
	3		73,4	77,6	76,9	74,8
	Rata-Rata		76,8	76,2	76,46666667	75,1
	1	Weld Metal	75,4	75,7	78,3	76,9
	2		72,9	74,4	75,3	78,6
	3		74,9	73,1	73,8	77,8
	Rata-Rata		74,4	74,4	75,8	77,76666667



Gambar 7. Gambar Lokasi Tes Pengujian Micro Vickers

Dari tabel 3 nilai kekerasan dapat diambil rata-rata dari setiap daerah dari tiap titik pengujian kekerasan, sehingga didapatkan nilai kekerasan seperti di tunjukkan pada Gambar 8.

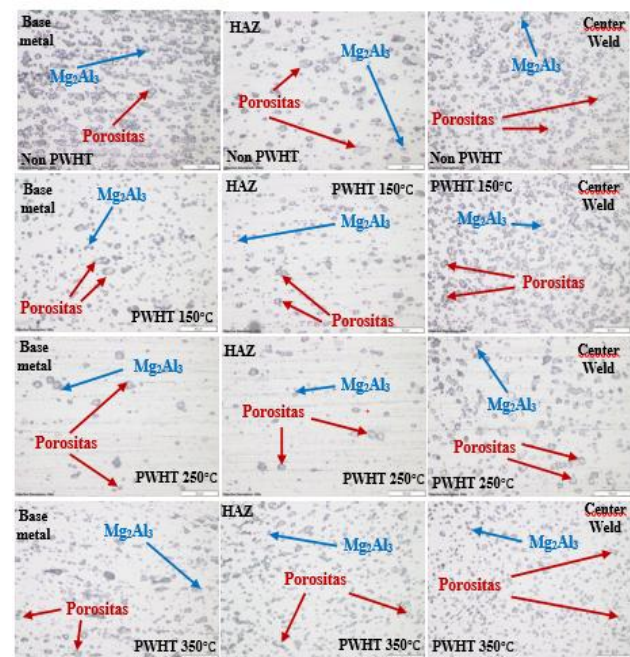


Gambar 8. Grafik nilai pengujian kekerasan Berdasarkan gambar 8 dapat dilihat nilai kekerasan dari material sebelum PWHT memiliki nilai kekerasan tertinggi pada daerah HAZ. Sedangkan spesimen yang telah mengalami PWHT mengalami penurunan nilai kekerasan khususnya dibagian HAZ. Dari gambar 8 dapat diketahui bahwa proses PWHT berpengaruh terhadap nilai kekerasan material. Nilai kekerasan dari spesimen PWHT 350°C pada daerah HAZ maupun base metal adalah yang terkecil dibandingkan PWHT 150°C dan 250°C. Hal ini dikarenakan perlakuan panas yang telah melewati temperatur austenisasi yang mengakibatkan

perubahan struktur mikro dari material [7]. Dilihat nilai kekerasan material yang telah di PWHT 150°C dan belum di PWHT mempunyai nilai kekerasan yang hampir sama. Untuk nilai kekerasan yang sama yaitu pada daerah *weld metal* dengan spesimen non PWHT dan spesimen PWHT 150°C sebesar 74,4 HV.

### 3.3. Data Hasil Pengujian Struktur Mikro

Hasil pengamatan metalografi dapat dilihat pada Gambar 9. Berdasarkan intepretasi dari mikrostruktur yang dihasilkan, terdapat senyawa  $Mg_2Al_3$  pada tiap sampel yang ditandai dengan panah berwarna biru dan beberapa porositas terbentuk dengan ukuran berbeda yang ditandai dengan panah berwarna merah.



Gambar 9. Struktur mikro Alumunium Alloy 5083  $Mg_2Al_3$  ( $\beta$ -phase) merupakan senyawa yang terbentuk akibat proses *aging*, umumnya terdapat pada aluminium seri 5XXX yang terdiri dari unsur paduan yang mendominasi yaitu Magnesium. Pada penelitian ini porositas yang terbentuk dari hasil proses pengelasan diakibatkan karena adanya gas hidrogen yang terjebak [8]. Dapat dilihat pada Gambar 9, jumlah porositas paling tinggi terdapat pada area *weld metal* dari semua perlakuan sampel hasil pengelasan. Hal ini terjadi karena *weld metal* merupakan area yang memiliki temperatur paling tinggi dan laju penurunan temperatur yang rendah dibandingkan area lainnya, sehingga konsentrasi hidrogen terlarut menjadi semakin tinggi yang menyebabkan semakin banyak gas hidrogen terjebak dan membentuk porositas. Tingginya konsentrasi porositas pada area *weld metal* akan menurunkan kekuatan tarik pada material, sehingga memungkinkan terjadinya perpatahan (*fracture*) pada area *weld metal* saat dilakukan uji tarik. Selain menghilangkan tegangan sisa, proses PWHT dapat mengurangi hidrogen terlarut pada sampel hasil pengelasan, sehingga dapat mengurangi terbentuknya porositas [8]. Dapat dilihat pada Gambar 9 semakin tinggi temperatur proses

PWHT akan menurunkan konsentrasi porositas yang terbentuk dan memiliki korelasi dengan hasil kuat tarik yang dihasilkan. Mikrostruktur sampel dengan perlakuan PWHT 350° C (Gambar 9) memiliki ukuran porositas yang relatif lebih kecil dibandingkan dengan sampel lainnya, yang menyebabkan nilai kuat tarik sampel dengan perlakuan PWHT pada temperatur 350° memiliki nilai paling tinggi.

#### 4. Kesimpulan

- a. Pengujian tarik pada spesimen yang telah mengalami PWHT mengalami kenaikan. Nilai kekuatan tarik tertinggi terjadi pada PWHT 350°C sebesar 263,65, sedangkan kekuatan tarik terendah pada material sebelum PWHT sebesar 253,523.
- b. Hasil pengujian kekerasan, bahwa PWHT berpengaruh terhadap penurunan nilai kekerasan dari suatu material baik pada daerah *base metal*, dan HAZ. Material yang diperlakukan PWHT 350°C mengalami penurunan kekerasan terbesar, sedangkan pada material yang diperlakukan PWHT 150°C dan tanpa PWHT mempunyai nilai kekerasan yang sama pada daerah *weld metal* sebesar 74,4 HV.
- c. Hasil uji mikrostruktur sampel dengan perlakuan PWHT 350° C memiliki ukuran porositas yang relatif lebih kecil dibandingkan dengan sampel lainnya, sehingga semakin tinggi temperatur proses PWHT maka akan menurunkan konsentrasi porositas yang terbentuk, dimana memiliki korelasi dengan hasil kuat tarik yang dihasilkan.

#### Daftar Rujukan

- [1] Hartono, Y dan Imam Pujo, M., 2008, Pengaruh Penggunaan Gas Pelindung Argon Grade A dan Grade C Terhadap Kekuatan Tarik Lasan Sambungan Butt Pada Material Kapal Aluminium 5083. Universitas Diponegoro, 5 (3), pp.181-190.
- [2] I.N Budiarsa., 2008. Jurnal Ilmiah Teknik Mesin CAKRAM. Pengaruh Besar Arus Pengelasan dan Kecepatan Volume Alir Gas Pada Proses Las GMAW terhadap Ketangguhan Aluminium 5083. Bali: Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran, 2 (2), pp.112-116.
- [3] Rizky, P.P., Sarjito, J. dan Kiryanto., 2016, Jurnal Teknik Perkapalan. Pengaruh Arus Listrik dan Temperatur terhadap Kekuatan Tarik dan Impact Aluminium 5083 Pengelasan GMAW (*Gas Metal Arc Welding*). Universitas Diponegoro, 4 (1), 152-161.
- [4] Erfan, W.U., 2018, Pengaruh Temperatur Post-Weld Heat Treatment Pada Pengelasan TIG Terhadap Struktur Mikro dan Kekuatan Tarik Aluminium Alloy 6061". Universitas Negri Semarang, [Online] (Update 09 Agustus 2019) Tersedia di: <https://www.researchgate.net/publication/328772422> (Accessed 18 Agustus 2020)
- [5] Bakhtiar, Murdhito, Gatot, D.W., 2017, Analisa Tegangan Sisa Aluminium Tipe 5083 Pada Hasil Pengelasan GMAW dengan Perlakuan Panas. Surabaya : Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, [Online] (Update 2017) Tersedia di: <https://docplayer.info/50167110-Analisa-tegangan-sisa-aluminium-tipe-5083-pada-hasil-pengelasan-gmaw-dengan-perlakuan-panas.html> (Accessed 20 Agustus 2020)
- [6] Akbar, T., Sarjito, J, Parlindungan, M., 2017, Pengaruh Suhu Pendinginan Dengan Media Air terhadap Hasil Pengelasan pada Kekuatan Tarik, Impak, dan Mikrografi Aluminium 5083 Pengelasan TIG (*Tungsten Inert Gas*). Universitas Diponegoro, 5 (1), pp.142-151
- [7] Gunawan, D.H, Rifky, I. Mahmuda, H., 2017, Pengaruh Post Weld Heat Treatment (PWHT) dengan Pemanas Induksi terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Sambungan Las Shield Metal Arc Welding (SMAW) pada Pipa API 5L X52. Universitas Diponegoro, 19 (3), pp.117-124
- [8] Mahros, D., Salahudin, J., Yopi, I.T., 2010. Analisis Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Paduan Aluminium 5083 akibat Pengelasan Metal Inert Gas (MIG) dengan Variasi Preheat dan Post Heat. Jurnal ROTOR, Jurusan Teknik Mesin: Universitas Jember 3 (2), pp. 67-75
- [9] ASTM, 2002. *Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products*, A370-02, Annual Book and American National Standar
- [10] ASTM, 2017. *Standard Test Methods for Vickers Hardness Of Metallic Material*, E92-82, Annual Book of ASTM Standards
- [11] ASME, 2017. *Boiler and Pressure Vessel Code An Internatrional Code*, Section IX