



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Pengaruh Media Pendingin Air Tawar, Air Coolant, dan Udara Terhadap Kekuatan Tarik dan Kekerasan pada Sambungan Las MIG (*Metal Inert Gas*) dan MAG (*Metal Active Gas*) Aluminium 6061

Hosea Kurniawan¹⁾, Ari Wibawa Budi Santosa¹⁾, Untung Budiarto¹⁾

¹⁾Laboratorium Las dan Material Kapal

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

^{*}e-mail : hoseakr@yahoo.co.id, arikapal75@gmail.com, budiartountung@gmail.com

Abstrak

Salah satu material yang dapat digunakan untuk pembuatan kapal adalah aluminium 6061. Pengelasan yang tepat diperlukan untuk bahan tersebut agar memperoleh hasil yang bagus, contohnya adalah pengelasan MIG (*Metal Inert Gas*) dan MAG (*Metal Active Gas*). Pengujian bertujuan untuk mengetahui perbandingan kekuatan tarik dan kekerasan aluminium 6061. Aluminium dilas MIG dan MAG lalu diberi media pendingin air tawar, air coolant, serta udara. Aluminium 6061 dilas dengan sudut single v butt joint dengan sudut 60°. Pengujian memberikan hasil bahwa media pendingin berpengaruh terhadap kekuatan tarik dan kekerasan aluminium 6061 tersebut. Pengujian tarik pada pengelasan MAG dengan media pendingin air coolant meraih angka rata-rata tegangan tarik tertinggi yaitu 191 MPa. Tegangan tarik terendah diperoleh pada pengelasan MIG dengan media pendingin air tawar dengan rata-rata 85 MPa. Pengujian kekerasan menggunakan metode Vickers meraih kekerasan tertinggi sebesar rata-rata 81 VHN pada las MAG pendingin air tawar. Kekerasan Vickers terendah dialami oleh aluminium yang dilas MAG dengan pendingin udara sebesar 70 VHN. Penelitian ini berkesimpulan bahwa air coolant memiliki pengaruh besar terhadap kekuatan tarik di kedua pengelasan, MIG dan MAG, dengan nilai tegangan tarik tertinggi. Air tawar mempengaruhi nilai kekerasan Vickers terhadap pengelasan MIG dan MAG dengan hasil nilai kekerasan tertinggi daripada media pendingin lainnya.

Kata Kunci : Aluminium 6061, MIG, MAG, Media Pendingin, Uji Tarik, Uji Kekerasan Vickers

1. PENDAHULUAN

Aluminium adalah salah satu unsur jenis logam yang memiliki sifat ringan dan lunak. Aluminium memiliki sifat yang tahan terhadap korosi serta memiliki warna putih-perak. Logam berjenis *nonferro* ini mempunyai beban material yang ringan dan lebih rendah daripada baja.

Banyak jenis aluminium yang dapat digunakan dalam pembuatan kapal cepat. Aluminium 6061 adalah salah satu jenis aluminium untuk pembuatan kapal tersebut. Biasanya aluminium 6061 dapat dibuat untuk struktur kapal seperti *stiffener*, bagian dek, dan juga lambung kapal.

Las MIG (*Metal Inert Gas*) adalah salah satu jenis pengelasan GMAW dimana pada proses

pengelasannya menggunakan gas mulia (*inert*) golongan VIII A seperti Helium dan Argon sebagai gas pelindung oksidasi. Pengelasan ini membentuk busur listrik antara plat dan elektroda yang menghasilkan panas. Lalu, kedua benda tersebut nantinya meleleh dan akhirnya menyatu [1].

Las MAG (*Metal Active Gas*) merupakan salah satu jenis pengelasan GMAW lainnya. Saat proses pengelasan MAG berjalan, pengelasan ini memakai salah satu gas pelindung yang dikenal di kalangan umum, yaitu gas pelindung CO₂. Gas pelindung CO₂ penggunaannya harus dilakukan dengan cara mengkombinasi gas tersebut dengan gas lainnya yaitu Helium atau Argon [1].

Pengujian tarik merupakan suatu pengujian bahan yang bersifat merusak bahan. Bahan akan diberikan gaya tarik yang berlawanan dengan

menggunakan mesin yang mengarahkan benda tersebut menjauh dari titik tengah. Alat eksperimen untuk uji tarik ini harus memiliki cengkeraman (*grip*) yang kuat dan kekakuan yang tinggi (*highly stiff*) [2].

Hardness test atau uji kekerasan merupakan salah satu uji bahan yang bersifat merusak bahan tersebut (*destructive test*). Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan suatu bahan. Bahan akan diletakkan di suatu alas, lalu bahan akan ditekan dengan alat. Metode pengujian kekerasan dapat dilakukan dengan 3 cara, yaitu *Vickers*, *Rockwell*, *Knoop*, dan *Brinell* [3].

Referensi pertama dari penelitian sebelumnya adalah penelitian tentang Pengaruh Media Pendingin Air Garam dan Oli Terhadap Kekuatan Tarik, Impak, dan Mikrografi Pada Sambungan Las Aluminium 6061 Pasca Pengelasan TIG (*Tungsten Inert Gas*) dan MIG (*Metal Inert Gas*). Pada pengujian tersebut, dengan las TIG dan menggunakan air garam sebagai pendingin, menunjukkan hasil kekuatan tarik yaitu 184 N/mm² dan menggunakan air oli sebesar 162 N/mm² [4].

Penelitian kedua yang menjadi referensi adalah Uji Tarik dan Mikrografi Aluminium 6061 T6 dan Aluminium 6061 T4 dengan Las GMAW. Material tersebut dipanaskan sampai 350°C. Dalam penelitian ini, hasil kekerasan *Rockwell* terbaik adalah aluminium 6061 T4 turun dari 82 HR menjadi 61 HR karena pemansanan. Hasil uji tarik terbaik adalah aluminium T4 yang mencapai 117,48 MPa. Sedangkan aluminium 6061 T6 hanya mencapai kekuatan tarik sebesar 73,57 MPa [5].

Eksperimen selanjutnya menggunakan bahan yang berbeda, yaitu *Stainless Steel* AISI 304. Eksperimen tersebut berkaitan tentang Uji Perbandingan Kekuatan Tarik Pengelasan *Stainless Steel* AISI 304 Menggunakan Las TIG (*Tungsten Inert Gas*) dan Las MIG (*Metal Inert Gas*) dengan Variasi Media Pendingin. Kekuatan tarik pengelasan *Stainless Steel* AISI 304 menggunakan las TIG dengan variasi media pendingin udara bebas menghasilkan angka kekuatan tarik tertinggi yaitu dengan angka 590,63 N/mm² dan kekuatan tarik dengan variasi media pendingin oli SAE 40 menghasilkan kekuatan tarik yang terendah sebesar 328,13 N/mm². Sedangkan kekuatan tarik pada pengelasan *Stainless Steel* AISI 304 menggunakan las MIG dengan variasi media pendingin air garam menghasilkan kekuatan tarik yang tertinggi yaitu dengan angka 251,25 N/mm² dan kekuatan tarik dengan variasi media pendingin oli SAE 40 menghasilkan kekuatan tarik yang terendah sebesar 161,25 N/mm² [6].

Penelitian yang lainnya menggunakan material baja yang berbeda, yakni Baja ST 60

penelitian tersebut adalah Analisa Kekuatan Tarik, Kekuatan Puntir, Kekerasan, dan Mikrografi Baja ST 60 Sebagai Bahan Poros Propeler Setelah Proses *Normalizing* dengan Variasi Waktu Penahanan Panas (*Holding Time*). Berdasarkan hasil uji kekerasan, *holding time* 20 menit memiliki nilai kekerasan 195,05 VHN. Berdasarkan hasil uji tarik, *raw material* memiliki nilai kekuatan tarik terbesar yaitu 730.01 N/mm² [7].

Referensi selanjutnya adalah penelitian tentang Efek dari Uji Kekerasan pada Aluminium 6061 T6 dengan Pengerasan Buatan. Aluminium 6061 T6 tersebut mengalami proses pemanasan sekitar 500°C sampai 550°C, *quenching* dengan suhu ruang, dan diberi *polyalkylene glycol*. Kekerasan tertinggi adalah 121,6 VHN pada penuaan 6 jam. Kekerasan terendah pada angka 25,74 VHN pada penuaan 10 jam [8].

Penelitian berikutnya adalah Analisa Pengaruh Variasi Media Pendingin dan Waktu Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Paduan Al 6061 – Serbuk Besi Setelah Perlakuan Panas T6. Media pendingin merupakan media pendingin secara cepat dengan menggunakan oli SAE, air garam, air dan waktu pendinginan 10 menit – 20 menit, kemampuan suatu jenis media dalam mendinginkan spesimen bisa berbeda – beda, kemampuan media pendingin disebabkan oleh temperatur, kekentalan, kadar larutan dan bahan dasar media pendingin. Penelitian bertujuan menganalisa pengaruh perlakuan panas T6 dengan variasi media pendingin suhu ruangan, oli sae, air garam, dan air dengan variasi waktu pendinginan 10 menit dan 20 menit. Presentase berat komposit yaitu 95 % aluminium 6061 + 5 % serbuk besi. Sehingga penelitian ini mendapatkan hasil uji kekerasan paling tinggi pada spesimen dengan variasi media pendingin air dengan waktu 10 menit 57,3 HRB dan pendingin air dengan waktu 20 menit 59,2 HRB [9].

Eksperimen berikutnya adalah Efek Variasi GMAW pada Kekuatan Tarik Aluminium 6061. Arus, voltase, dan gas transfer dalam kondisi terbaik. Sudut yang digunakan adalah *single v butt joints*. Pulsed cold metal transfer (PCMT) meraih kekerasan tertinggi yaitu 79 HV dan uji tarik tertinggi yaitu 227 MPa [10].

Penelitian terakhir yang merujuk penelitian yang akan datang adalah Pengaruh Pemanasan Pada Kekuatan Tarik Aluminium 6061 dengan *Cold Metal Arc Welded*. Penghalusan HAZ merupakan salah satu masalah yang dialami aluminium saat pengelasan GMAW. *Cold Metal Transfer* adalah salah satu solusinya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa *Cold Metal Arc*

Welded meraih nilai tarik sebesar 242 MPa (10% lebih tinggi dari pada yang tidak dipanaskan) [11].

Berdasarkan beberapa eksperimen yang telah dilakukan sebelumnya, penulis pada penelitian kali ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan kekuatan tarik dan juga kekerasan dari aluminium 6061 yang dilas MIG dan MAG lalu diberi media pendingin air tawar, air *coolant*, dan udara. Hasil dari penelitian juga dapat digunakan untuk mengetahui media pendingin mana yang cocok untuk memperoleh hasil uji yang maksimal.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Alat dan Bahan

Penelitian ini akan menggunakan alat dan bahan sebagai berikut :

Alat :

1. Mesin gerinda
2. Mesin las MIG
3. Mesin las MAG
4. Mesin uji tarik
5. Mesin uji kekerasan *Vickers*
6. Jangka soring atau penggaris

Bahan :

1. Aluminium 6061
2. Air tawar
3. Air *coolant* dengan merk *Denso Super Long Life Coolant*
4. Elektroda ER 4043



Gambar 1. Pelat Aluminium 6061

Aluminium 6061 merupakan suatu material logam perpaduan antara magnesium dan silikon. Gambar aluminium 6061 sebagai bahan uji dapat dilihat pada Gambar 1. Aluminium 6061 memiliki kekuatan tarik hingga 324 MPa. Material yang biasanya digunakan untuk struktur dan lambung kapal ini memiliki berbagai macam unsur seperti Aluminium (Al) = 97,61%, Silikon (Si) = 0,65%, Besi (Fe) = 0,26%, Tembaga (Cu) = 0,18%, Mangan (Mn) = 0,07%, Magnesium (Mg) = 1 %, Zinc (Zn) = 0,11 %, Chromium (Cr) = 0,05%, dan

Titanium (Ti) = 0,07%. Properti material dari aluminium 6061 dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Properti Material Aluminium 6061

| No | Aluminium 6061 | |
|----|------------------------------|------------------------|
| 1 | <i>Poisson's Ratio</i> | 0,33 |
| 2 | <i>Modulus Of Elasticity</i> | 68,9 GPa |
| 3 | <i>Density</i> | 2700 kg/m ³ |
| 4 | <i>Yield Stress</i> | 276 MPa |
| 5 | <i>Elongation at Break</i> | 12% |
| 6 | <i>Fatigue Strength</i> | 96,5 MPa |
| 7 | <i>Tensile Strength</i> | 324 MPa |

Elektroda atau *filler* yang digunakan adalah elektroda berjenis ER 4043. Elektroda ER 4043 adalah paduan aluminium umum yang biasanya dipilih karena mempunyai kekuatan yang baik. Selain itu, ER 4043 juga memiliki ketahanan korosi yang sangat baik. Elektroda ER 4043 sebagai filler pengelasan dapat dilihat di Gambar 2. Elektroda dengan jenis ini cocok digunakan pada sambungan Aluminium berseri 3003, 3004, 5052, 6061 dan 6063 [12].



Gambar 2. Elektroda ER 4043

2.2 Cara Penelitian

2.2.1 Pengelasan Spesimen

Spesimen aluminium 6061 yang awalnya berupa pelat besar akan dipotong menjadi dua dan dibentuk sudut bevel *single v butt joint*. Setelah itu, aluminium 6061 akan dilas MIG dan MAG dengan elektroda ER 4043 berdiameter 1,2 mm. Posisi pengelasan adalah 1G. *Downhand* adalah pengelasan paling mudah dan menghasilkan kualitas lebih baik. Tetapi posisi tersebut tidak selalu digunakan karena faktor letak pekerjaan seperti pengerjaan pengelasan di industri perkapalan.

Pengelasan MIG menggunakan gas argon, sedangkan pengelasan MAG menggunakan gas karbon dioksida. Mesin las yang digunakan adalah mesin *Thermaweld*, yang termasuk mesin las GMAW (*Gas Metal Arc Welding*).

2.2.2 Pendinginan Spesimen

Aluminium 6061 langsung direndam ke media pendingin air tawar dan juga air *coolant* setelah pengelasan selesai. Perendaman dilakukan selama masing-masing 15 menit di ember dengan isi atau volume air sekitar tiga sampai empat liter. Material akan didiamkan saja di ruangan untuk variasi pendingin udara. Gambar 3 menunjukkan aluminium 6061 yang sudah dilas dan diberi media pendingin.



Gambar 3. Aluminium 6061 Setelah Dilas dan Didinginkan

Air memiliki nilai viskositas yang rendah dibandingkan dengan media pendingin lainnya memiliki laju pendinginannya cepat. Air memiliki sifat viskositas yang rendah sehingga baik digunakan untuk pendingin karena dapat melarutkan panas dengan cepat dan baik [6].

Udara sebagai media pendingin merupakan salah satu pendingin dengan laju pendingin lambat. Udara akan memberikan kesempatan kepada bahan untuk membentuk kristal – kristal dan kemudian mengikat unsur – unsur lain dari udara. Untuk pendinginan pada udara terbuka akan memberikan oksidasi oksigen terhadap proses pendinginan [13].



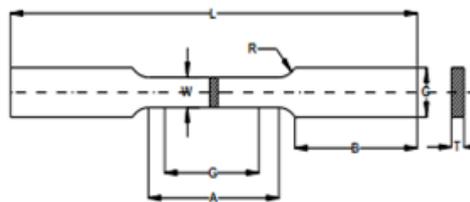
Gambar 4. Denso Super Long Life Coolant

Denso Super Long Life Coolant pada Gambar 4 merupakan salah satu media pendingin yang akan digunakan dalam penelitian. Air *coolant* merupakan salah satu cairan yang fungsinya untuk

mendinginkan. Air *coolant* sudah mengalami proses deionisasi dan demineralisasi. Ini membuat *coolant* bebas dari mineral dan kotoran yang ada pada air. Selain bersih, *coolant* juga ditambahkan beberapa bahan kimia seperti. *ethylene glycol* berfungsi untuk meningkatkan titik didih air *coolant*, sementara *corrosion inhibitor* berfungsi sebagai anti karat [14].

2.2.3 Pembentukan Spesimen

Pembentukan spesimen uji tarik menggunakan mesin bentuk. Ukuran spesimen uji tarik dapat dilihat pada Gambar 5 dan Tabel 2.



Gambar 5. Spesimen Uji Tarik

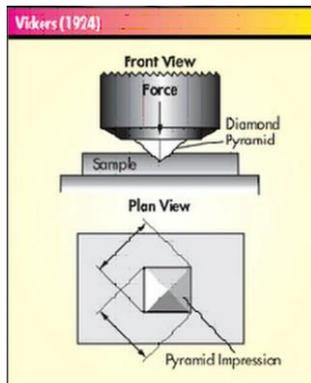
Tabel 2. Dimensi Spesimen Uji Tarik

| Keterangan | Panjang |
|------------|---------|
| G | 50 mm |
| A | 57 mm |
| W | 12,5 mm |
| T | 10 mm |
| R | 12,5 mm |
| L | 200 mm |
| C | 20 mm |
| B | 50 mm |

Pembentukan spesimen uji kekerasan *Vickers* menggunakan mesin bentuk. Setelah dibentuk, spesimen akan dipoles menggunakan mesin poles. Ukuran spesimen uji kekerasan *Vickers* dapat dilihat pada Gambar 6 dan Tabel 3.

Tabel 3. Dimensi Spesimen Uji Kekerasan

| Keterangan | Ukuran |
|------------|--------|
| Panjang | 70 mm |
| Lebar | 10 mm |
| Tebal | 10 mm |



Gambar 6. Bentuk Spesimen Uji Kekerasan Vickers

2.2.4 Pengujian Spesimen

1. Uji Tarik

Pengujian tarik merupakan suatu pengujian bahan yang bersifat merusak bahan. Bahan akan diberikan gaya tarik yang berlawanan dengan menggunakan mesin yang mengarahkan benda tersebut menjauh dari titik tengah. Uji tarik menggunakan standar aturan ASTM E8 [15].

Hasil uji tarik yang pertama adalah tegangan tarik. Tegangan tarik merupakan perbandingan antara beban maksimum bahan yang diuji dengan luas penampang bahan tersebut. Tegangan tarik dapat dinyatakan dengan rumus :

$$\sigma_{\text{Max}} = \frac{P_{\text{max}}}{\text{Lebar} \times \text{Tebal}} \quad (1)$$

Hasil uji tarik yang kedua adalah regangan tarik. Dapat diartikan bahwa regangan tarik adalah perbandingan antara besar pertambahan panjang suatu material dengan panjang awal material tersebut. Regangan tarik dapat dirumuskan dengan persamaan berikut :

$$e = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% \quad (2)$$

$$e = \frac{L_f - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (3)$$

Penjelasan simbol : e adalah regangan (%), ΔL adalah selisih panjang setelah patah dengan panjang awal *gage length* (mm), L_f adalah panjang *gage length* setelah patah (mm), dan L_0 adalah panjang awal *gage length* (mm).

Modulus elastisitas merupakan nilai untuk menghitung ketahanan suatu material untuk mengalami deformasi setelah material diberi gaya. Modulus elastisitas atau biasa disebut modulus young ini didapat setelah material mendapatkan tegangan dan regangan. Rumus untuk modulus elastisitas adalah sebagai berikut :

$$E = \frac{\sigma}{e} \quad (4)$$

Penjelasan simbol : E adalah nilai modulus elastisitas material (GPa), σ adalah nilai tegangan luluh material (MPa), dan e adalah nilai regangan luluh material (%).

2. Uji Kekerasan Vickers

Pengujian kekerasan merupakan salah satu pengujian material yang bersifat merusak material tersebut. Pengujian dengan metode *Vickers* bertujuan menentukan kekerasan suatu material dalam yaitu daya tahan material terhadap indentor intan yang cukup kecil dan mempunyai bentuk geometri berbentuk piramida. Alat uji kekerasan yang digunakan adalah *hardness test*. Uji kekerasan *Vickers* menggunakan standar ASTM E92 [3].

2.2.5 Lokasi Penelitian

Pengelasan aluminium 6061 akan dilakukan di Inlasterk *Welding Institute*, Surakarta. Setelah pengelasan selesai, aluminium 6061 akan dibawa ke Laboraturim Bahan Uji Sekolah Vokasi Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta untuk pembuatan spesimen uji sekaligus pengujian tarik dan kekerasan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Uji Tarik

Uji tarik dilaksanakan di Laboraturim Bahan Uji Sekolah Vokasi Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta pada tanggal 27 Juli 2020. Pada penelitian ini, uji tarik menghasilkan data-data seperti tegangan tarik dan regangan tarik. Setelah mendapat kedua hasil tersebut, modulus elastisitas dari aluminium 6061 dapat dicari. Pengujian tarik tersebut menggunakan standar ASTM E8. Contoh dari bahan yang sudah dilakukan pengujian tarik dapat dilihat pada Gambar 7. Data hasil uji tarik dapat dilihat pada Tabel 4.



Gambar 7. Aluminium Setelah Uji Tarik

Tabel 4. Hasil Uji Tarik

| Spesimen | σ Maks (MPa) | σ Luluh (MPa) | Regangan (%) | E (GPa) |
|-----------------|---------------------|----------------------|--------------|---------|
| Raw material | 279,11 | 160,90 | 15,98 | 66,45 |
| | 279,99 | 160,91 | 20,32 | 130,65 |
| | 280,55 | 154,79 | 25,73 | 74,18 |
| MIG air tawar | 92,72 | 92,72 | 1,49 | 103,45 |
| | 73,68 | 73,68 | 1,96 | 65,84 |
| | 88 | 88,00 | 1,87 | 117,83 |
| MIG air coolant | 149,36 | 149,36 | 1,99 | 187,22 |
| | 210,56 | 160,14 | 5,26 | 152,35 |
| | 164,89 | 154,85 | 2,77 | 130,61 |
| MIG udara | 115,92 | 115,92 | 2,31 | 150,60 |
| | 177,29 | 157,92 | 6,50 | 80,96 |
| | 178,55 | 157,72 | 7,69 | 71,78 |
| MAG air tawar | 114,16 | 114,16 | 2,67 | 92,60 |
| | 170,85 | 134,88 | 6,25 | 215,85 |
| | 133,84 | 119,60 | 3,56 | 78,29 |
| MAG air coolant | 209,12 | 157,94 | 4,72 | 122,77 |
| | 156,13 | 156,13 | 2,91 | 187,58 |
| | 206,36 | 156,95 | 5,45 | 105,63 |
| MAG udara | 171,17 | 133,96 | 13,92 | 38,50 |
| | 144,01 | 129,61 | 3,66 | 94,31 |
| | 126,57 | 126,57 | 3,52 | 71,93 |

Tabel 5 menunjukkan nilai rata-rata dari hasil pengujian dari Tabel 4. Nilai rata-rata yang dihitung adalah tegangan maksimal, regangan, dan modulus elastisitas.

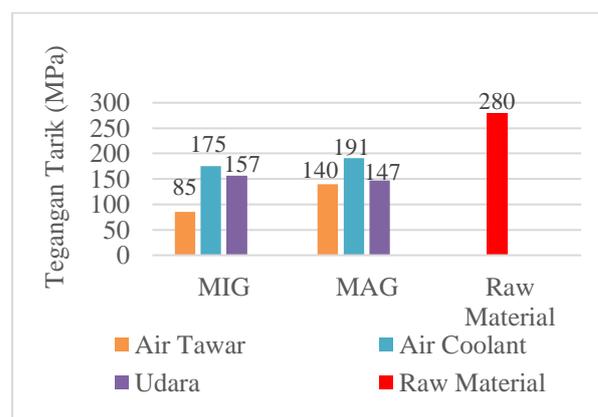
Tabel 5. Nilai Rata-Rata Hasil Uji Tarik

| Spesimen | σ Rata-Rata (MPa) | Regangan Rata-Rata (%) | E Rata-Rata (GPa) |
|-----------------|--------------------------|------------------------|-------------------|
| Raw material | 280 | 21 | 90 |
| MIG air tawar | 85 | 2 | 96 |
| MIG air coolant | 175 | 3 | 157 |
| MIG udara | 157 | 6 | 101 |
| MAG air tawar | 140 | 4 | 129 |
| MAG air coolant | 191 | 4 | 139 |
| MAG udara | 147 | 7 | 68 |

Tegangan Tarik

Data dari pengujian pada Tabel 5 menunjukkan bahwa pengelasan MAG dengan media pendingin air *coolant* meraih angka tegangan tarik tertinggi yaitu 191 MPa. Selain itu, air *coolant* juga memiliki angka tertinggi di pengelasan MIG, namun lebih rendah dari pengelasan MAG. Pengelasan MAG dengan media

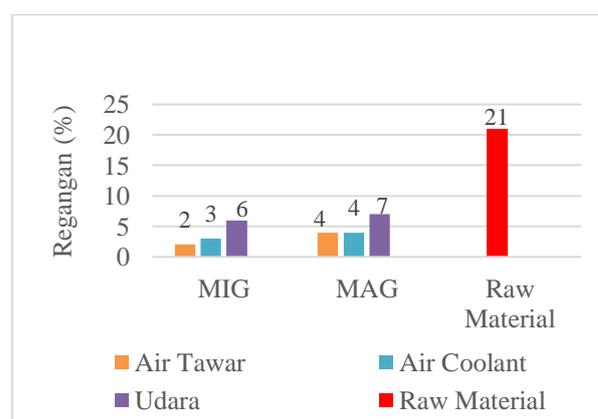
pendingin air *coolant* memiliki kualitas sambungan las yang bagus. Sedangkan *raw material* memiliki hasil tegangan tarik sebesar 280 MPa. Diagram nilai rata-rata tegangan tarik dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Diagram Nilai Rata-Rata Tegangan Tarik

Regangan Tarik

Data dari pengujian pada Tabel 5 menunjukkan bahwa pengelasan MAG dengan pendinginan udara mendapat regangan sebesar 7%. Pendingin udara di pengelasan MIG juga meraih regangan tertinggi sebesar 6%. Pengelasan MAG mendapat nilai regangan lebih besar daripada pengelasan MIG di seluruh variasi media pendingin. *Raw material* memiliki regangan sebesar 21%. Diagram nilai rata-rata regangan tarik dapat dilihat pada Gambar 9.

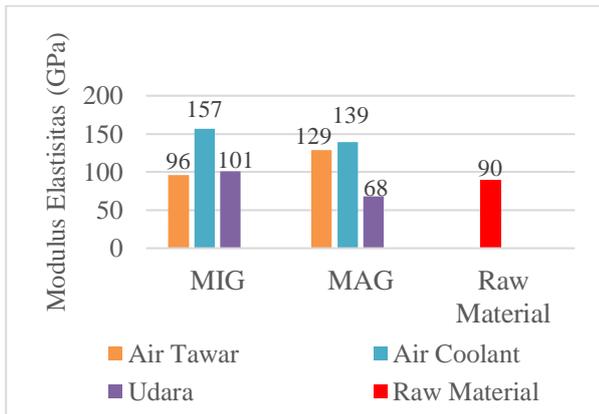


Gambar 9. Diagram Nilai Rata-Rata Regangan Tarik

Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas tertinggi pada Tabel 5 diraih oleh pengelasan MIG dengan pendingin air *coolant* sebesar 157 GPa. Pendingin tersebut juga menghasilkan nilai 139 GPa, tertinggi di

pengelasan MAG, namun lebih rendah daripada MIG. Modulus elastisitas pada *raw material* adalah 90 GPa, menunjukkan bahwa pengelasan MIG dan MAG lebih baik. Diagram nilai rata-rata regangan tarik dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Diagram Nilai Rata-Rata Modulus Elastisitas

3.2 Uji Kekerasan Vickers

Uji kekerasan metode *Vickers* dilakukan di Laboraturim Bahan Uji Sekolah Vokasi Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta pada tanggal 29 Juli 2020. Uji ini menggunakan pembebanan 200gf selama lima detik. Satuan pengukuran diagonal jejak indentor adalah μm . Posisi untuk menguji kekerasan kali ini di daerah *heat affected zone* secara acak. Contoh dari bahan yang sudah dilkakukan pengujian kekerasan *Vickers* dapat dilihat pada Gambar 11. Hasil pengujian kekerasan *Vickers* dapat dilihat pada Tabel 6.



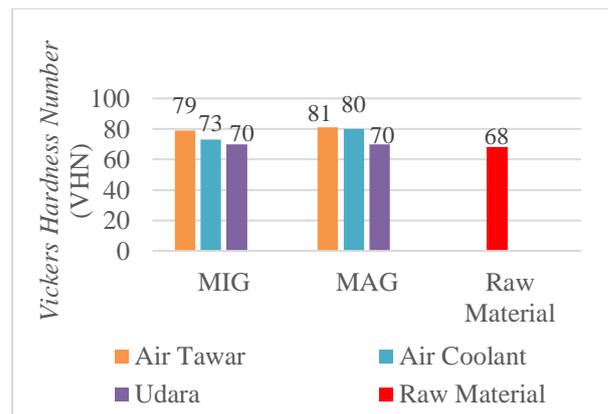
Gambar 11. Aluminium Setelah Uji Kekerasan *Vickers*

Tabel 6. Data Hasil Uji Kekerasan

| Spesimen | Kekerasan (VHN) | Rata-Rata Kekerasan (VHN) |
|---------------------|-----------------|---------------------------|
| <i>Raw material</i> | 68 | 68 |
| | 68 | |
| | 69 | |
| MIG air tawar | 80,2 | 79 |
| | 77,9 | |
| | 79 | |
| | 79 | |

| | | |
|------------------------|------|----|
| MIG air <i>coolant</i> | 71,5 | 73 |
| | 72,5 | |
| | 74,6 | |
| MIG udara | 67,7 | 70 |
| | 68,7 | |
| | 73,6 | |
| MAG air tawar | 79 | 81 |
| | 85,1 | |
| | 77,9 | |
| MAG air <i>coolant</i> | 77,9 | 80 |
| | 80,2 | |
| | 81,4 | |
| MAG udara | 71,5 | 70 |
| | 69,6 | |
| | 68,7 | |

Hasil pengujian kekerasan *Vickers* pada Tabel 6 menunjukkan bahwa pengelasan MAG dengan media pendinginan air tawar memiliki kekerasan tertinggi yaitu sebesar 81 VHN. Pengelasan MIG dengan air tawar juga memiliki hasil yang tinggi untuk pengelasan tersebut, yaitu sebesar 79 VHN. Untuk pengelasan MAG, hasil tidak beda jauh antara media pendingin air tawar dan air *coolant*. Kekerasan *Vickers* pengelasan MIG dan MAG lebih baik daripada *raw material* yang memiliki angka kekerasan sebesar 68 VHN.



Gambar 12. Diagram Nilai Rata-Rata Kekerasan *Vickers*

3.3 Perbandingan Hasil Penelitian Sekarang dengan Penelitian Sebelumnya

Penelitian sebelumnya mengambil tema tentang Pengaruh Media Pendingin Air Garam dan Oli Terhadap Kekuatan Tarik, Impak, dan Mikrografi Pada Sambungan Las Aluminium 6061 Pasca Pengelasan TIG (*Tungsten Inert Gas*) dan MIG (*Metal Inert Gas*). Pada pengujian tersebut, dengan las TIG dan menggunakan air garam

sebagai pendingin, menunjukkan hasil kekuatan tarik yaitu 184 N/mm² dan menggunakan air oli sebesar 162 N/mm² [4]

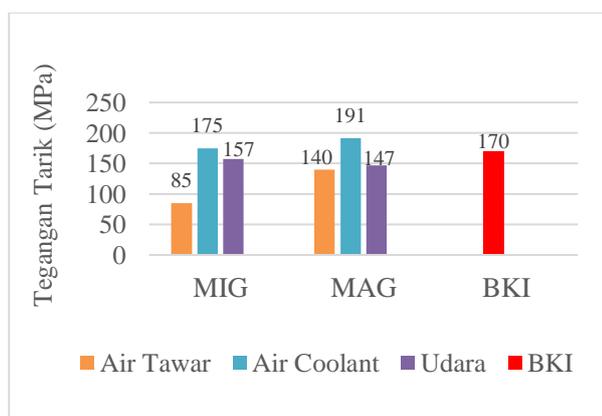
Penelitian kedua lainnya yaitu Analisa Kekuatan Tarik, Kekuatan Puntir, Kekerasan, dan Mikrografi Baja ST 60 Sebagai Bahan Poros Propeler Setelah Proses *Normalizing* dengan Variasi Waktu Penahanan Panas (*Holding Time*). Berdasarkan hasil uji kekerasan, *holding time* 20 menit memiliki nilai kekerasan 195,05 VHN. Berdasarkan hasil uji tarik, *raw material* memiliki nilai kekuatan tarik terbesar yaitu 730.01 N/mm² [8].

Angka rata-rata tegangan tarik tertinggi pada penelitian yang sudah dilakukan ini dihasilkan oleh pengelasan MAG dengan media pendingin air *coolant* sebesar 191 MPa. Pendingin air *coolant* juga tertinggi di pengelasan MIG, yaitu 175 MPa.

Uji kekerasan *Vickers* kali ini berbeda dari sebelumnya. Pada penelitian sebelumnya, peneliti menggunakan variasi waktu pemanasan. Sedangkan pada penelitian kali ini, kami menggunakan variasi media pendingin. Pengelasan MAG dengan air tawar memiliki nilai kekerasan tertinggi yaitu 81 VHN. Pengelasan MIG memiliki kekerasan tertinggi sebesar 79 VHN dengan media pendingin air tawar juga.

3.4 Perbandingan Hasil Penelitian dengan Aturan Biro Klasifikasi Indonesia

Penelitian kali ini akan dibandingkan dengan standar aturan BKI, apakah sesuai dengan standar atau tidak. Aturan atau standar tersebut disesuaikan dengan “*Rules For The Classification and Construction, Part 1 Vol VI: Rules For Welding, Section 5: Welding Consumables And Auxillary Materials*”. Aluminium 6061 harus mempunyai kekuatan tarik minimal 170 MPa. Aturan tersebut juga berlaku untuk pengelasan aluminium, seperti pengelasan MIG dan MAG [16].



Gambar 13. Diagram Perbandingan Kekuatan Tarik dengan BKI

Berdasarkan data-data dari gambar 13, penelitian kali ini hanya ada dua rata-rata nilai tegangan tarik yang lolos standar BKI. Pengelasan MIG dan MAG menggunakan media pendingin air *coolant* memenuhi aturan tersebut dengan nilai tegangan tarik masing-masing sebesar 175 MPa dan 191 MPa.

Perbedaan nilai kekuatan tarik pada aluminium 6061 dengan standar BKI tentunya memiliki beberapa sebab. Beberapa penyebabnya adalah pemilihan elektroda yang digunakan, besar amper dan voltase, variasi media pendingin, serta faktor seorang *welder* dalam mengelas material tersebut. Untuk penelitian yang akan datang, beberapa penyebab atau faktor tersebut harus diperhatikan agar menghasilkan lasan yang lebih baik lagi.

4. KESIMPULAN

Uji tarik serta uji kekerasan *Vickers* pada aluminium 6061 dengan las MIG dan MAG setelah diberi media pendingin air tawar, air *coolant*, dan udara. Eksperimen tidak menggunakan uji struktur mikro. Penelitian menghasilkan beberapa kesimpulan yaitu :

Uji tarik aluminium 6061 memiliki rata-rata kekuatan tarik dari berbagai variasi media pendingin yakni, untuk MIG air tawar 85 MPa, MIG air *coolant* sebesar 175 MPa, MIG udara sebesar 157 MPa. Pengelasan MAG dengan air tawar sebesar 140 MPa, MAG air *coolant* sebesar 191 MPa, dan MAG udara sebesar 147 MPa. Air *coolant* memiliki pengaruh besar terhadap kekuatan tarik di kedua pengelasan, MIG dan MAG, membuat pengelasan ini memiliki kekuatan tarik yang tinggi. Air *coolant* berpengaruh juga terhadap modulus elastisitas yang memiliki angka tertinggi sebesar 157 GPa dengan las MIG.

Kekerasan aluminium 6061 memiliki rata-rata dari berbagai macam media pendinginnya, yakni, untuk MIG air tawar 79 VHN, MIG air *coolant* sebesar 73 VHN, MIG udara sebesar 70 VHN. Pengelasan MAG dengan air tawar sebesar 81 VHN, MAG air *coolant* sebesar 80 VHN, dan MAG udara sebesar 70 VHN. Air tawar mempengaruhi nilai kekerasan *Vickers* terhadap pengelasan MIG dan MAG dengan hasil nilai kekerasan tertinggi daripada media pendingin lainnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyadari bahwa dalam penelitian tugas akhir kali ini tidak akan dapat selesai tanpa adanya saran, masukan, dan bantuan dari pihak-

pihak lainnya. Penulis berterima kasih kepada pihak INLASTEK *Welding – Institute*, Surakarta sebagai tempat pengelasan bahan. Selain itu, penulis berterima kasih juga kepada pihak Laboratorium Bahan Uji Sekolah Vokasi Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta sebagai tempat pembentukan dan pengujian bahan. Penulis juga berterima kasih kepada dosen pembimbing 1 dan dosen pembimbing 2 yang membimbing dan memberi saran sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Widharto, *Welding Inspection*. Jakarta: Mitra Wacana Media, 2013.
- [2] A. Sastranegara, “Mengenal Uji Tarik dan Sifat-sifat Mekanik Logam.” Jakarta-Indonesia, 2009.
- [3] ASTM E92, “*Standard Test Methods for Vickers Hardness and Knoop Hardness of Metallic Materials*.” USA, 2017.
- [4] M. S. Rinaldy, U. Budiarto, and W. Amiruddin, “Pengaruh Media Pendingin Air Garam dan Oli Terhadap Kekuatan Tarik, Impak, dan Mikrografi Pada Sambungan Las Aluminium 6061 Pasca Pengelasan TIG (*Tungsten Inert Gas*) dan MIG (*Metal Inert Gas*),” *J. Tek. Perkapalan*, vol. 6, no. 4, 2018.
- [5] I. Guzman, E. Granda, B. Vargas, C. Cruz, Y. Avila, and J. Acevedo, “*Tensile and Fracture Behavior In 6061-T6 and 6061-T4 Aluminum Alloys Welded By Pulsed Metal Transfer GMAW*,” *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 103, no. 5–8, pp. 2553–2562, 2019.
- [6] F. N. Felani, K. Kosjoko, and A. Finali, “Uji Perbandingan Kekuatan Tarik Pengelasan *Stainless Steel Aisi 304* Menggunakan Las Tig (*Tungsten Inert Gas*) Dan Las Mig (*Metal Inert Gas*) Dengan Variasi Media Pendingin,” *J-Proteksion*, vol. 1, no. 2, pp. 13–16, 2017.
- [7] W. F. Tambunan, U. Budiarto, and A. W. B. Santosa, “Analisa Kekuatan Tarik, Kekuatan Puntir, Kekerasan, dan Mikrografi Baja ST 60 Sebagai Bahan Poros Propeller Setelah Proses *Normalizing* dengan Variasi Waktu Penahanan Panas (*Holding Time*),” *J. Tek. Perkapalan*, vol. 7, no. 1, 2019.
- [8] C. F. Tan and S. M. Radzai, “*Effect of Hardness Test on Precipitation Hardening Aluminium Alloy 6061-T6*,” *Chiang Mai J. Sci.*, vol. 36, no. 3, pp. 276–286, 2009.
- [9] I. Ismail and M. R. T. Lutfi, “Analisa Pengaruh Variasi Media Pendingin dan Waktu Pendinginan Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Paduan Al 6061 - Serbuk Besi Setelah Perlakuan Panas T6,” *Mek. J. Tek. Mesin*, vol. 5, no. 02, pp. 1–5, 2019.
- [10] A. Ramaswamy, S. Malarvizhi, and V. Balasubramanian, “*Effect of Variants of Gas Metal Arc Welding Process on Tensile Properties of AA6061-T6 Aluminium Alloy Joints*,” *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 108, no. 9, pp. 2967–2983, 2020.
- [11] A. Ramaswamy, S. Malarvizhi, and V. Balasubramanian, “*Post-weld Heat Treatment Effects on The Tensile Properties of Cold Metal Arc Welded AA 6061-T6 Aluminum Joints*,” *Mater. Test.*, vol. 62, no. 1, pp. 69–76, 2020.
- [12] W. A. Company, “*4043 Aluminium Welding Wire*,” Washington DC, USA, 2008.
- [13] V. B. Sardi, S. Jokosisworo, and H. Yudo, “Pengaruh Normalizing dengan Variasi Waktu Penahanan Panas (*Holding Time*) Baja ST 46 terhadap Uji Kekerasan, Uji Tarik, dan Uji Mikrografi,” *J. Tek. Perkapalan*, vol. 6, no. 1, 2018.
- [14] Denso, “DENSO SLLC (*Super Long Life Coolant*).” PT. Denso Sales Indonesia, Indonesia.
- [15] ASTM E8/E8M-09, “*Standard Specification for Aluminum and Aluminum-Alloy Sheet and Plate.*,” USA, 2009.
- [16] B. K. Indonesia, “*Rules for the Classification and Construction: Volume VI Rules for Welding*.” Jakarta, 2019.