



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Pengaruh Variasi Temperatur PWHT Terhadap Kekuatan Tarik, Impak, dan Struktur Mikro Aluminium 6061 Pasca Pengelasan MIG

Zamzami^{1)*}, Untung Budiarto²⁾, Sarjito Jokosisworo³⁾

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 : zamzami295@students.undip.ac.id

Abstrak

Aluminium 6061 merupakan jenis aluminium yang sering digunakan dalam konstruksi kapal. Pada saat pasca pengelasan logam terdapat tegangan-tegangan sisa di daerah sekitar heat affected zone (HAZ). Post Weld Heat Treatment merupakan metode yang digunakan untuk mengurangi tegangan sisa. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh perlakuan panas terhadap kekuatan tarik, impak, struktur mikro aluminium 6061 pengelasan MIG variasi temperatur PWHT. Nilai kekuatan tarik dan regangan tarik paling tinggi didapat dari spesimen dengan PWHT 450°C yaitu sebesar 212 Mpa dan 12.7%. Nilai modulus elastisitas paling tinggi didapat dari spesimen tanpa perlakuan panas yaitu sebesar 124.8 Gpa. Nilai kekuatan impak paling tinggi didapat dari spesimen dengan perlakuan panas 550°C sebesar 0,078 J/mm². Nilai kekuatan impak paling rendah didapat dari spesimen tanpa perlakuan panas. Untuk nilai regangan tarik paling rendah didapat dari spesimen tanpa PWHT. Nilai kekuatan tarik dan modulus elastisitas paling rendah didapat dari spesimen PWHT 550°C. Perubahan struktur mikro pada spesimen yang diberikan heat treatment memiliki kerapatan struktur yang lebih rapat dibandingkan spesimen yang tidak diberikan heat treatment. Dari hasil penelitian ini dapat diambil kesimpulan bahwa perlakuan panas dapat meningkatkan kekuatan tarik serta harga impak karena proses perlakuan panas dapat mengurangi tegangan sisa pada spesimen sehingga bisa memperbaiki sifat-sifat mekanik pada spesimen pasca pengelasan MIG

Kata Kunci : Aluminium 6061, Pengelasan MIG, PWHT, Kekuatan Tarik, Impak, Struktur Mikro

1. PENDAHULUAN

Industri Logam Ringan pada akhir-akhir ini merupakan salah satu sektor yang berkembang luas dan pesat. Aluminium merupakan salah satu jenis logam yang sering dimanfaatkan dalam bidang konstruksi. Aluminium merupakan contoh yang baik dari penggunaan logam ringan dimana telah banyak digunakan dalam berbagai material konstruksi teknik. Aluminium merupakan logam yang kuat serta memiliki daya ketahanan korosi yang tinggi. Selain itu, aluminium juga memiliki sifat keuletan yang bagus pada kondisi dingin. Paduan aluminium biasanya digunakan di berbagai bidang seperti dalam konstruksi, transportasi, struktur bagian atas bangunan lepas pantai, dan industri perkapalan.

Pada konstruksi kapal, sering kali lambung kapal terkena tekanan yang berasal dari gelombang

laut [1], apabila kondisi ini terjadi terus-menerus maka dapat berdampak terhadap kekuatan material akibat terjadinya korosi pada lambung kapal. Maka dari itu biasanya aluminium sering digunakan dalam struktur kapal seperti pada *stiffener*, bagian dek, serta lambung kapal. Aluminium 6061 merupakan seri dari 6XXX yang paling banyak digunakan untuk pembuatan kapal. Aluminium seri ini memiliki karakteristik yang tangguh, tahan terhadap korosi, memiliki kekuatan yang sedang hingga tinggi serta paduan yang *heat treatable*. Jenis paduan aluminium ini mengandung magnesium dan silikon sebagai paduan utamanya, elemen ini meningkatkan kekuatan paduan melalui penguatan presipitasi.

Dalam proses penggabungan dan reparasi logam, proses pengelasan sangat memiliki peran penting. Pengelasan merupakan teknik penyambungan logam yang sering di aplikasikan

dalam berbagai konstruksi, reparasi, dan produksi logam. Teknik pengelasan memiliki kelebihan karena pada sambungan las konstruksinya lebih ringan, mudah pengerjaannya, serta cukup ekonomis. Teknik Pengelasan sendiri merupakan proses penggabungan dua atau lebih logam menjadi satu dengan cara memberikan energi panas [2].

Pengelasan memiliki beberapa jenis, salah satunya adalah las MIG (*Metal Inert Gas*). Pengelasan MIG merupakan proses menyambungkan dua atau lebih material logam menjadi satu melalui proses pencairan, dengan menggunakan *filler* metal yang sama dengan logam dasarnya dengan menggunakan gas pelindung seperti gas inert argon atau campuran argon helium. Penggunaan gas pelindung pada pengelasan MIG berfungsi untuk mencegah terjadinya oksidasi serta melindungi hasil las pada saat proses pembekuan las (*solidification*).

Pada saat pasca pengelasan logam terdapat tegangan-tegangan sisa di daerah sekitar *heat affected zone* (HAZ) yang dapat menyebabkan terjadinya deformasi serta perubahan sifat mekanis, dan struktur metalurgi. Perubahan sifat yang terjadi ini dapat menyebabkan berkurangnya kekuatan sambungan las, sehingga diperlukan perlakuan agar kekuatan sambungannya tidak berkurang. Cara mekanik dan cara termal merupakan metode yang dapat dilakukan untuk mengatasi hal tersebut. Cara termal dengan proses *Post Weld Heat Treatment* (PWHT) merupakan yang paling sering digunakan. Pada proses PWHT ini terdapat faktor-faktor yang berperan, diantaranya waktu penahanan (*holding time*), suhu pemanasan, serta laju pendinginan. *Post Weld Heat Treatment* (PWHT) adalah pemanasan kembali daerah hasil pengelasan, bertujuan untuk melunakkan daerah sekitar *Heat Affected Zone* (HAZ), menambah ketangguhan daerah las, serta menghilangkan tegangan sisa yang tersisa pada proses pengelasan [3].

Dapat dilihat dari penelitian terdahulu perihal bagaimana *heat treatment* memiliki pengaruh terhadap struktur mikro, kekerasan dan kekuatan tarik pada hasil pengelasan aluminium 5083. Pada hasil pengujian kekerasan, terlihat bahwa PWHT memiliki pengaruh terhadap turunnya nilai nilai kekerasan dari suatu material baik pada daerah base metal, dan HAZ. Material yang diberi perlakuan PWHT dengan suhu yang paling tinggi memiliki nilai penurunan kekerasan yang paling besar. Sedangkan untuk nilai kekuatan tarik spesimen dengan PWHT mengalami kenaikan. Pada hasil uji struktur mikro spesimen dengan perlakuan PWHT suhu yang lebih tinggi ukuran porositasnya lebih kecil dari spesimen yang lainnya, sehingga, jika diberikan perlakuan PWHT

dengan temperatur yang lebih tinggi akan mengurangi porositas yang terbentuk dimana berhubungan dengan nilai kekuatan tarik yang dihasilkan [4].

Hasil penelitian selanjutnya terkait bagaimana *heat treatment normalizing* berpengaruh terhadap kekuatan impak aluminium 6061 pasca dilakukan pengelasan MIG dengan variasi posisi bentuk kampuh. Hasilnya menunjukkan bahwa kekuatan impak aluminium pasca pengelasan dapat dipengaruhi oleh faktor perlakuan panas *normalizing*. Rata-rata harga kekuatan impak pada material dengan perlakuan panas *normalizing* lebih besar dibandingkan spesimen tanpa *normalizing*. Sehingga bisa disimpulkan bahwa harga kekuatan impak pada spesimen raw material maupun dengan pengelasan dapat meningkat setelah diberikan perlakuan *normalizing* [5].

Penelitian berikutnya yakni terkait pengaruh *heat treatment* terhadap sifat mekanik pada sambungan las aluminium 6061. Pada penelitian ini dijelaskan bahwa kekuatan tarik material meningkat apabila dilakukan PWHT dengan kekuatan tarik tertinggi yaitu pada spesimen PWHT dengan waktu tahan 24 jam. Adapun untuk nilai kekerasan juga meningkat setelah dilakukan PWHT. Untuk nilai regangan tarik mengalami penurunan setelah dilakukan PWHT. Sehingga dapat disimpulkan bahwa kekuatan tarik dan nilai kekerasan meningkat pasca diberikan perlakuan PWHT, akan tetapi sifat elastisnya mengalami penurunan [6].

Dari latar belakang serta hasil penelitian di atas peneliti tertarik untuk mengkaji permasalahan tersebut melalui judul penelitian “Pengaruh Variasi Temperatur PWHT Terhadap Kekuatan Tarik, Impak, dan Struktur Mikro Aluminium 6061 Pasca Pengelasan MIG”.

2. METODOLOGI

2.1. Objek Penelitian

Penelitian ini menggunakan material aluminium 6061. Jenis pengujian yang dilakukan adalah uji tarik, impak, dan struktur mikro sesuai standar ukuran masing-masing spesimen dengan total jumlah spesimen sebanyak 36 buah.



Gambar 1. Aluminium 6061

Tabel 1. Sifat-Sifat Mekanik Aluminium 6061

Sifat Mekanik	Nilai
<i>Poisson's ratio</i>	0,33
<i>Modulus of Elasticity</i>	68.9 Gpa
<i>Density</i>	270 Kg/m
<i>Ultimate Tensile Strength</i>	310 Mpa
<i>Yield Stregth</i>	276 Mpa
<i>Elongation At Break</i>	12 %

2.2. Pengelasan MIG

Metode pengelasan yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini yaitu pengelasan MIG. Pengelasan MIG (*Metal Inert Gas*) merupakan pengelasan yang menggunakan gas argon murni sebagai pelindung busur, penggunaan gas pelindung ini bertujuan untuk menghindari terjadinya proses oksidasi pada proses pengelasan dan logam yang mencair dari pengaruh atmosfer [7].

Elektroda atau *filler* jenis ER 4043 yang digunakan memiliki diameter 1.2 mm. Elektroda ER 4043 merupakan paduan aluminium umum yang sering digunakan karena memiliki kekuatan yang baik serta tahan terhadap korosi. Penggunaan elektroda seri 4xxx dikarenakan paduan tersebut memiliki kandungan Si yang banyak ditemukan lebih efektif untuk mengurangi retakan panas pada lasan Aluminium 6061 [8].

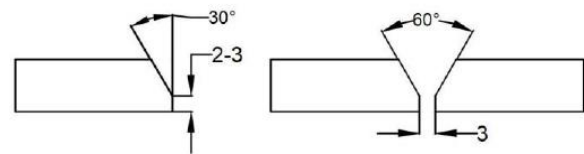
Tabel 2. Komposisi Elektroda ER 4043

Unsur	Komposisi (%)
Si	5.0
Mg	0.05
Cu	0.30
Fe	0.80
Mn	0.05
Zn	0.1
Ti	0.2
Al	<i>Balance</i>

Parameter yang digunakan dalam proses pengelasan sebagai berikut :

- Jenis sudut kumpuh *Single V Butt Joint* dengan sudut 60°
- Voltase 26 – 29 V
- Kuat Arus 225 – 300 A
- Kapasitas gas Argon 50 cfh ≈ 23,6 l/min

Penelitian ini menggunakan proses pengelasan dengan standard AWS *NUMBER 3* dengan kumpuh *Single V-butt joint* sudut 60°.



Gambar 2. Jenis Sambungan Las *Single V-Butt Joint* sudut 60°

2.3. Perlakuan Panas

Perlakuan panas (*heat treatment*) merupakan *treatment* yang diberikan pada logam dengan proses kombinasi pemanasan serta pendinginan bertujuan untuk menghilangkan tegangan sisa serta memperoleh sifat-sifat mekanik yang lebih baik. Penelitian ini menggunakan metode perlakuan panas *normalizing*. Proses *normalizing* dilakukan dengan menggunakan mesin *furnace* atau dapur panas seperti pada Gambar 3.

Adapun beberapa tahapan proses yang dilakukan dalam perlakuan panas *normalizing* setelah dilakukan pengelasan adalah sebagai berikut:

1. *Heating* merupakan proses pemanasan dimana material dipanaskan di dalam mesin *furnace* hingga mencapai suhu yang diinginkan.
2. *Holding* merupakan menahan material pada temperatur pemanasan yang bertujuan untuk memberikan kesempatan terjadinya perubahan struktur mikro pada material.
3. *Cooling* adalah melakukan pendinginan pada material dengan media pendingin udara hingga mencapai suhu kamar.

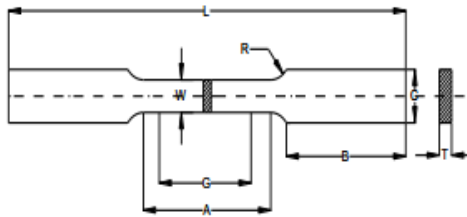
Proses *normalizing* pada logam berguna untuk mengurangi tegangan sisa, memperhalus butir, meningkatkan sifat mekanik, *machinability*, serta agar struktur yang didapatkan lebih homogen. Selanjutnya, untuk mendapatkan ketangguhan yang lebih baik maka melalui proses pemanasan dengan waktu tertentu, struktur yang telah berubah tersebut dapat dikembalikan lagi. Dalam penelitian ini menggunakan variasi suhu perlakuan panas 350°C, 450°C, 550°C dengan waktu penahanan selama 30 menit.



Gambar 3. Mesin *Furnace*

2.4. Uji Tarik

Uji tarik adalah salah satu pengujian merusak dilakukan dengan memberikan gaya tarik yang berlawanan arah menjauhi titik tengah, atau dengan mengikat salah satu ujung benda dan ujung lainnya lalu diberikan gaya hingga benda tersebut putus bertujuan untuk mengetahui sifat-sifat mekanis suatu logam dan paduannya, terutama pada kekuatan tarik material tersebut. Pada pengujian tarik beberapa fenomena perpatahan ulet dan getas dapat dilihat jelas dengan mata telanjang [9].



Gambar 4. Dimensi Spesimen Uji Tarik ASTM E8 [10]

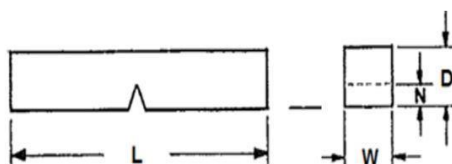
Tabel 3. Dimensi Spesimen Uji Tarik

Keterangan	Panjang
<i>Overall Length (L)</i>	200 mm
<i>Width (W)</i>	12,5 mm
<i>Thickness (D)</i>	10 mm
<i>Gage Length (G)</i>	50 mm
<i>Length of Reduced Section (A)</i>	57 mm
<i>Radius of Fillet (R)</i>	12,5 mm
<i>Width of Grip Section (C)</i>	20 mm
<i>Length of Grip Section (B)</i>	50 mm

2.5. Uji Impak

Uji impact merupakan pengujian yang dilakukan pada suatu material dengan cara memberikan beban mendadak untuk mengetahui efek beban tersebut terhadap keuletannya. Dari pengujian impact didapatkan berapa besar efek dari suhu energi yang diabsorpsi material tersebut.

Pada penelitian ini dilakukan pengujian impact metode charpy. Proses pengujian tumbuk dilakukan dengan meletakkan posisi spesimen secara horizontal, lalu diberikan beban mendadak berlawanan dari arah takikan. Pembuatan spesimen untuk uji impact mengacu pada standard ASTM E23.



Gambar 5. Dimensi Pengujian Impact

Tabel 4. Dimensi Spesimen Uji Impact

Keterangan	Panjang
<i>Overall Length (L)</i>	55 mm
<i>Width (W)</i>	10 mm
<i>Thickness (D)</i>	10 mm
<i>Notch Thickness (N)</i>	2 mm
<i>Notched Charpy</i>	45°

2.6. Uji Struktur Mikro

Uji struktur mikro adalah pengujian yang bertujuan untuk mendapatkan gambar yang menunjukkan struktur mikro dari sebuah paduan atau logam. Struktur mikro pada suatu logam atau paduan dapat diketahui dari pengujian mikrofografi dengan cara batas-batas butir pada material diperjelas sehingga bisa dilihat dengan menggunakan mikroskop selanjutnya diambil gambarnya [11].

2.7. Alat dan Bahan

Pembuatan spesimen dalam penelitian ini menggunakan alat dan bahan antara lain :

1. Aluminium 6061
2. Gerinda
3. Jangka sorong
4. *Filler* ER 4043
5. Dapur panas (*furnace*)
6. Mesin las MIG
7. Mesin uji tarik
8. Mesin uji Impact
9. Mesin uji mikrofografi

Serta total jumlah spesimen yang dibutuhkan adalah sebagai berikut :

Tabel 5. Kebutuhan Spesimen

Pengujian	Perlakuan Panas			Tanpa Perlakuan Panas	
	350° C	450° C	550° C		
Uji Tarik	4	4	4	4	
Uji Impact	4	4	4	4	
Struktur Mikro	1	1	1	1	
Total Spesimen	9	9	9	9	36

2.8. Lokasi Penelitian

Lokasi pengelasan pada penelitian ini dilaksanakan di *Inlastek Welding Institute*, Surakarta. Untuk uji tarik dan uji impact

dilaksanakan di Laboratorium Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro, Semarang. Selanjutnya uji struktur mikro dilaksanakan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Diponegoro, Semarang.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Uji Tarik

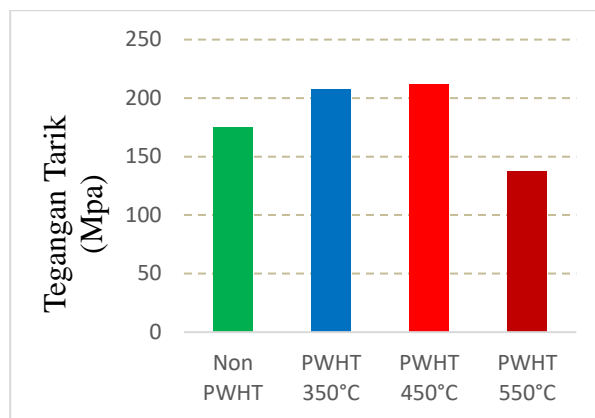
Standar yang digunakan pada uji tarik mengacu pada ASTM E8/E8M-09. Dari hasil pengujian tarik didapatkan nilai tegangan tarik, regangan tarik, serta modulus elastisitas yang digunakan untuk mengetahui kekuatan tarik spesimen.

1. Tegangan Tarik

Tegangan tarik adalah tegangan maksimal yang dapat ditanggung material sebelum perpatahan (*fracture*) terjadi. Dari hasil pengujian, nilai tegangan tarik maksimum yang diperoleh dari material aluminium 6061 dengan varisasi temperatur *heat treatment* adalah sebagai berikut :

Tabel 6. Data Hasil Tegangan Tarik

Spesimen	Area (mm ²)	P Max (KN)	σ Max (Mpa)	σ Rata-Rata (Mpa)
N2	125	22.3	178.4	174.93
N3	125	18.2	145.6	
N4	125	25.1	200.8	
P1.1	125	26.8	214.4	207.73
P1.3	125	25.2	201.6	
P1.4	125	25.9	207.2	
P2.1	125	22.9	183.2	212
P2.2	125	28.2	225.6	
P2.3	125	28.4	227.2	
P3.1	125	18.3	146.4	137.07
P3.3	125	16.6	132.8	
P3.4	125	16.5	132	



Gambar 6. Grafik Rata-rata Tegangan Tarik

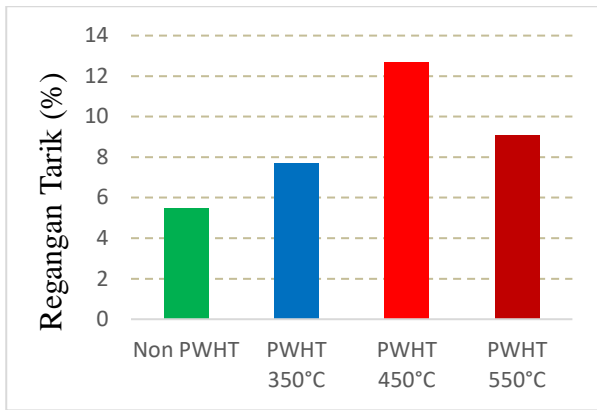
Hasil dari perhitungan dengan menggunakan standar deviasi spesimen N1, P1.2, P2.4, dan P3.2 tidak dimasukkan ke dalam perhitungan rata-rata. Nilai rata-rata tegangan tarik spesimen dengan *heat treatment* suhu 450°C memiliki nilai tegangan tarik paling tinggi yaitu sebesar 212 Mpa. Pada spesimen tanpa diberikan *heat treatment* nilai rata-rata tegangan tariknya sebesar 174.9 Mpa.

2. Regangan Tarik

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan didapatkan nilai regangan tarik sebagai berikut:

Tabel 7. Data Hasil Regangan Tarik

Spesimen	ΔL	Lo (mm)	Regangan (%)	e Rata-rata (%)
N2	2.5	50	5.0	5.5
N3	2.7	50	5.4	
N4	3.0	50	6.0	
P1.1	3.9	50	7.8	7.7
P1.2	3.6	50	7.2	
P1.3	4.1	50	8.2	
P2.1	4.1	50	8.2	12.7
P2.2	7.2	50	14.4	
P2.3	7.8	50	15.6	
P3.1	5.1	50	10.2	9.1
P3.3	3.9	50	7.8	
P3.4	4.7	50	9.4	



Gambar 7. Grafik Rata-rata Regangan Tarik

Hasil dari perhitungan dengan menggunakan standar deviasi spesimen N1, P1.4, P2.4 dan P3.2 tidak dimasukkan ke dalam perhitungan nilai rata-rata. Nilai rata-rata regangan tarik spesimen dengan *heat treatment* 450°C memiliki nilai regangan tarik tertinggi yaitu sebesar 12.7%. Untuk rata-rata nilai regangan tarik terkecil terdapat pada spesimen tanpa diberikan *heat treatment* yaitu sebesar 5.5 %.

3. Modulus Elastisitas

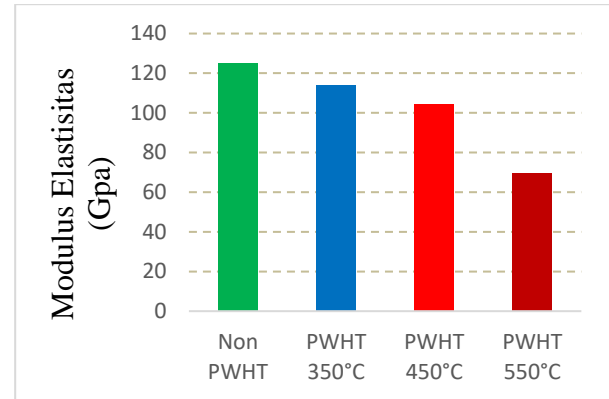
Dari hasil pengujian yang telah dilakukan didapatkan nilai modulus elastisitas sebagai berikut:

Tabel 8. Data Hasil Modulus Elastisitas

Spesi men	σ pro (Mpa)	L pro (Mpa)	e pro (%)	E (Gpa)	E Rata-rata (Gpa)
N2	74.7	1.1	0.55	135.8	124.8
N3	76.8	1.4	0.7	109.7	
N4	83.7	1.3	0.65	128.8	
N1	92.5	2.3	1.15	80.43	
P1.3	72.6	1.2	0.6	121.0	113.9
P1.4	77.2	1.1	0.55	140.4	
P1.1	92.5	2.3	1.15	80.43	
P2.1	77.3	0.9	0.45	171.8	104.6
P2.2	169.9	7.5	3.75	45.31	
P2.3	224.1	13.8	6.9	32.48	
P2.4	75.9	0.9	0.45	168.7	
P2.2	169.9	7.5	3.75	45.31	
P3.2	180.8	7.0	3.5	51.66	69.4
P3.3	107.6	3.5	1.75	61.49	
P3.4	95	2.0	1.00	95.00	

Berdasarkan hasil perhitungan dengan menggunakan standar deviasi spesimen N1, P1.2,

dan P3.1 tidak dimasukkan ke dalam perhitungan nilai rata-rata. Nilai rata-rata modulus elastisitas yang terbesar yaitu pada spesimen tanpa *heat treatment* sebesar 124.8 Gpa. Sedangkan untuk rata-rata nilai modulus elastisitas paling kecil terdapat pada spesimen dengan *heat treatment* 550°C yaitu sebesar 69.4 Gpa.



Gambar 8. Grafik Rata-rata Modulus Elastisitas

3.2. Hasil Pengujian Impak

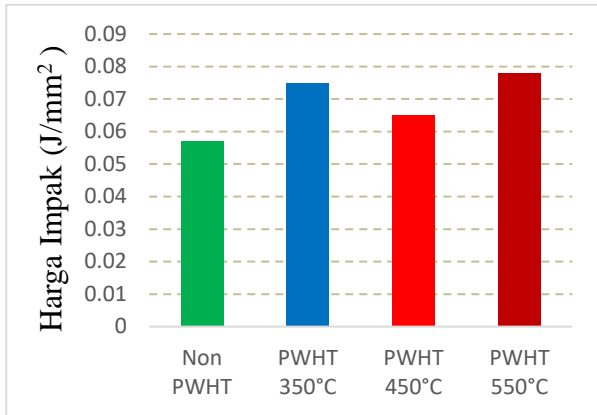
Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan didapatkan rata-rata nilai impak sebagai berikut :

Tabel 9. Data Hasil Uji Impak

Spesi men	Energi Terserap (J)	Luas (mm ²)	Nilai Impak (J/mm ²)	Rata-Rata
N1	4.6	83.2	0.055	0.057
N2	4.3	82.8	0.052	
N3	5.3	81.6	0.065	
P1.2	5	83.2	0.060	0.075
P1.3	7	86.4	0.081	
P1.4	7	84.4	0.083	
P2.1	5	81.2	0.062	0.065
P2.2	5.8	84.8	0.068	
P2.3	5.4	81.6	0.066	
P3.1	7	82.4	0.085	0.078
P3.2	6.3	84	0.075	
P3.3	6	81.2	0.074	

Berdasarkan hasil perhitungan dengan menggunakan standar deviasi spesimen N4, P1.1, P2.4, dan P3.4 tidak dimasukkan ke dalam perhitungan nilai rata-rata. Data hasil pengujian impak pada tabel dapat dilihat rata-rata nilai impak spesimen tanpa diberikan *heat treatment* dan juga diberikan *heat treatment*. Pengujian impak

spesimen yang tidak diberikan *heat treatment* mempunyai nilai rata rata impak sebesar 0,057 J/mm². Sedangkan nilai rata-rata impak paling tinggi spesimen yang diberikan *heat treatment* dengan suhu 550°C yaitu sebesar 0.078 J/mm². Selanjutnya rata-rata nilai impak dengan suhu 350°C yaitu sebesar 0,075 J/mm². Terakhir spesimen dengan perlakuan panas suhu 450°C nilai rata rata impaknya adalah 0,065 J/mm².

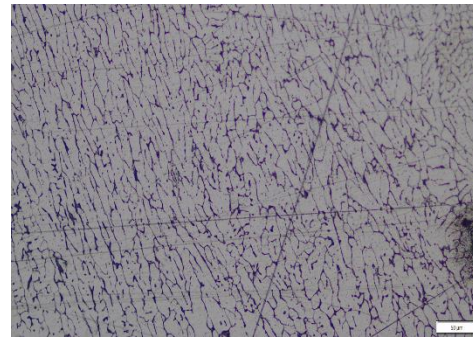


Gambar 9. Grafik Rata-rata Harga Impak

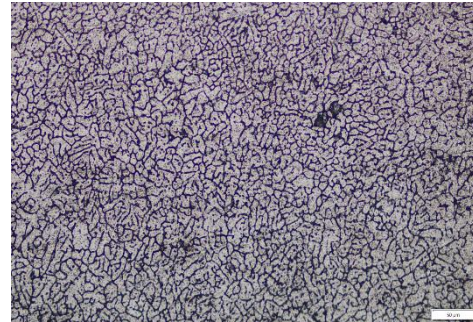
3.3. Hasil Pengujian Struktur Mikro

Uji struktur mikro berguna mengetahui bentuk struktur mikro sambungan las pada spesimen pasca dilakukan pengelasan MIG yang diberi perlakuan panas dengan beberapa variasi temperatur. Perubahan struktur mikro yang terjadi pada material dapat dilihat pada saat proses pengambilan foto dengan menggunakan mikroskop.

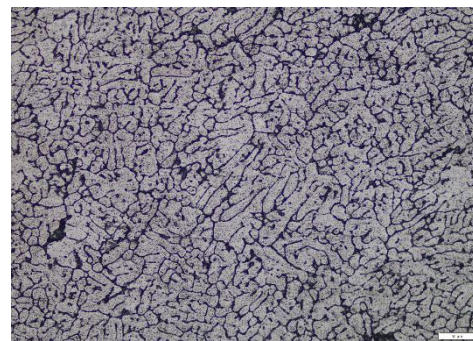
Ada beberapa tahapan dalam uji struktur mikro, yang pertama-tama dilakukan adalah material diampas menggunakan amplas nomor 100, 200, 400, 600, dan 1000 sampai permukaannya rata dan halus, kemudian material di poles dengan autosol hingga mengkilap. Proses selanjutnya adalah melakukan pengetsan, standart etsa yang digunakan pada material aluminium yaitu menggunakan larutan NaOH 50%. Setelah semua tahapan tersebut selesai baru dapat dilakukan foto mikro dengan menggunakan mikroskop agar struktur mikronya terlihat. Hasil struktur mikro yang difoto yaitu pada hasil lasan dan *Heat Affected Zone* (HAZ) dengan perbesaran 50 µm. Berikut hasil foto struktur mikro dari aluminium 6061 :



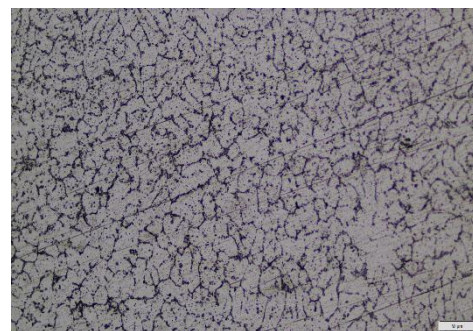
Gambar 10. Non PWHT



Gambar 11. PWHT 350°C



Gambar 12. PWHT 450°C



Gambar 13. PWHT 550°C

Hubungan antara struktur mikro dengan kekerasan adalah untuk mengidentifikasi terjadinya proses presipitasi, sifat mekanik seperti keuletan pada material uji [14]. Pengerasan presipitasi merupakan proses *heat treatment* untuk memperkuat paduan logam. Presipitasi adalah pembentukan partikel halus yang bertindak untuk mencegah terjadinya pergerakan dislokasi sehingga bisa menambah kekuatan pada paduan logam.

Ada terdapat dua fasa yang ditampilkan dari hasil yaitu aluminium *solid solution* yang ditunjukkan warna abu-abu dan fasa Mg₂Si yang ditunjukkan dengan warna hitam. Apabila kedua kandungan Mg dan Si ini berada pada temperatur yang tepat akan membentuk Mg₂Si dimana ini sangat mempengaruhi sifat mekanik dari aluminium [15].

Dapat dilihat dari hasil pengujian struktur mikro pada daerah pengelasan spesimen tanpa *heat treatment* ukuran rata-rata butir masih besar serta lebih renggang, sedangkan pada spesimen yang diberikan *heat treatment* 350°C, 450°C, dan 550°C ukuran butir pada daerah pengelasan menjadi lebih kecil dan lebih rapat. Dapat dilihat juga garis hitam pada spesimen dengan *heat treatment* lebih jelas dibanding pada spesimen tanpa *heat treatment* struktur mikro, ini menunjukkan pada saat diberikan *heat treatment* bahwa Mg₂Si paling banyak terbentuk, sehingga dapat mempengaruhi sifat mekanik pada spesimen. Hasil pengujian mikro ini sependapat dengan penelitian sebelumnya, dimana pada spesimen yang diberikan perlakuan panas memiliki struktur yang lebih rapat serta garis hitam yang tampak lebih jelas, hal tersebut menunjukkan Mg₂Si banyak terbentuk pada material yang diberikan perlakuan panas [6].

3.4. Perbandingan Standar BKI Dengan Hasil Pengujian Tarik

Menurut standar pengujian tarik dari BKI, sambungan las aluminium 6061 memiliki standar nilai kekuatan tarik (*Tensile Strength*) pada sambungan las aluminium 6061 harus memiliki nilai kekuatan tarik minimal sebesar 170 Mpa [12].

Tabel 10. Perbandingan Standar BKI dengan Hasil Uji Kekuatan Tarik

Spesimen	Kekuatan Tarik BKI (Mpa)	Hasil Pengujian (Mpa)
Non PWHT	170	174.9
PWHT 350°C	170	207.7
PWHT 450°C	170	212.0
PWHT 550°C	170	137.1

Dari hasil pengujian tarik hanya terdapat tiga pengujian yang memenuhi standar BKI yaitu spesimen tanpa diberikan *heat treatment* dan yang diberikan *heat treatment* pada temperatur 350°C dan 450°C. Terdapat beberapa faktor yang menyebabkan kurangnya kekuatan tarik pada hasil lasan aluminium 6061 seperti, diameter elektroda yang kurang sesuai dengan spesifikasi perencanaan, tegangan serta kuat arus yang dapat

mempengaruhi masukan panas, dan faktor kemampuan dari *welder* itu sendiri.

3.5. Perbandingan Standar ASTM E23 Dengan Hasil Pengujian Impak

Menurut standar ASTM E23, material aluminium 6061 tanpa pengelasan memiliki nilai standar impak minimal 0,4 J/mm², pada material dengan pengelasan memiliki nilai impak minimum 0,1 J/mm² [13].

Tabel 11. Perbandingan standar ASTM E23 dengan Hasil Uji Impak

Spesimen	HI ASTM E23 (J/mm ²)	Hasil Pengujian (J/mm ²)
Non PWHT	0.1	0.057
PWHT 350°C	0.1	0.075
PWHT 450°C	0.1	0.065
PWHT 550°C	0.1	0.078

Berdasarkan hasil pengujian impak didapatkan hanya ada satu hasil uji yang memenuhi standar ASTM E23 yaitu pada spesimen yang diberikan perlakuan panas 450°C sebesar 0,12 J/mm². Untuk Spesimen tanpa perlakuan panas dan diberikan perlakuan panas harga rata-rata impak hasil pengujianya belum memenuhi nilai minimal 0.1 J/mm² standar ASTM E23.

Belum memenuhinya harga impak berdasarkan standar ASTM E23 pada hasil lasan dapat disebabkan oleh kualitas sambungan las yang dihasilkan kurang bagus pada saat proses pengelasan, sehingga hasil lasanya kurang maksimal. Beberapa faktor penyebabnya seperti pemilihan elektroda yang kurang tepat, tegangan serta kuat arus yang dapat mempengaruhi masukan panas dan kemampuan *welder* yang mengerjakan. Maka dari itu untuk selanjutnya agar lebih diperhatikan lagi faktor dari parameter pengelasannya sehingga kedepannya mendapatkan hasil yang maksimal.

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini tentang pengaruh variasi temperatur PWHT terhadap kekuatan tarik, impak, dan struktur mikro aluminium 6061 pasca pengelasan MIG dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

Rata-rata nilai tegangan tarik dari setiap variasi yaitu, untuk spesimen tanpa perlakuan panas sebesar 174.9 Mpa, spesimen dengan variasi perlakuan panas 350°C, 450°C, dan 550°C berurutan sebesar 207.7 Mpa, 212 Mpa, dan 137.1 Mpa. Selanjutnya nilai regangan tarik dari

spesimen tanpa perlakuan panas sebesar 5.5%, sedangkan nilai regangan tarik dari spesimen dengan perlakuan panas 350°C, 450°C, dan 550°C adalah sebesar 7.7%, 12.7%, dan 9.1%.

Nilai rata-rata modulus elastisitas dari setiap variasi yaitu, untuk spesimen tanpa perlakuan panas sebesar 124.8 Gpa, selanjutnya spesimen dengan perlakuan panas 350°C, 450°C, dan 550°C berurutan sebesar 113.9 Gpa, 104.6 Gpa, dan 69.4 Gpa.

Untuk rata-rata nilai dampak paling tinggi yaitu pada spesimen yang diberikan perlakuan panas 550°C sebesar 0,078 J/mm². Nilai dampak terendah pada spesimen tanpa perlakuan panas yaitu sebesar 0,057 J/mm². Spesimen dengan perlakuan panas 350°C dan 450°C sebesar 0,075 J/mm² dan 0,065 J/mm². Akan tetapi, hanya terdapat satu spesimen yang memenuhi standar yaitu pada spesimen dengan perlakuan panas 450°C, selain itu nilai dampak rata-rata pada spesimen lainnya belum memenuhi standar ASTM E23.

Terdapat beberapa faktor yang menyebabkan kurangnya nilai kekuatan tarik pada sambungan las aluminium 6061 seperti, kuat arus yang dapat mempengaruhi masukan panas, serta faktor kemampuan dari *welder* yang mengerjakan. Maka dari itu untuk selanjutnya harus diperhatikan lagi parameter pengelasannya agar kedepannya mendapatkan hasil yang maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. R. P. N. Arifin, & Y. Yunus, "Pengaruh Media Pendingin Terhadap Kekuatan Dampak dan Struktur Mikro Hasil Pengelasan Aluminium 5083 Dengan Las TIG," *Jurnal Teknik Mesin*, 9(02), 31-36, 2021.
- [2] S. Widharto, *Welding Inspection*. Jakarta: Mitra Wacana Media, 2013.
- [3] H. Hestiawan, & A. F. Surono, "Pengaruh Preheat dan Post Welding Heat Treatment Terhadap Sifat Mekanik Sambungan Las SMAW Pada Baja Amutit K-460," *Jurnal Mechanical*, 5(1), 2014.
- [4] A. Novianto, I. Setiawan, & A. Pramono, "Pengaruh Temperatur PWHT Terhadap Struktur Mikro, Uji Kekerasan Dan Uji Tarik Pada Proses Pengelasan Gas Metal Arc Welding (GMAW) Aluminium 5083," *Jurnal Teknik Mesin*, 13(2), 50-55, 2020.
- [5] R. Wurdhani, U. Budiarto, & W. Amiruddin, "Pengaruh Perlakuan Panas (*Heat Treatment*) Normalizing Terhadap Kekuatan Dampak Aluminium 6061 Pengelasan MIG dengan Variasi Posisi dan Bentuk Kampuh," *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 9, no. 1, pp. 70-78, 2021.
- [6] A. Randhiko et al., "Pengaruh Post Weld Heat Treatment (PWHT) T6 Pada Aluminium Alloy 6061-O dan Pengelasan Longitudinal Tungsten Inert Gas Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro," *Jurnal Teknik Mesin S-1*, Vol .2 , No .3 , 2014.
- [7] N. J. Zainal Fakri, Bukhari, "Analisa pengaruh kuat arus pengelasan GMAW terhadap ketangguhan sambungan baja AISI 1050," *J. Weld. Technol.*, vol. 1, no. 1, pp. 5-10, 2019.
- [8] R. P. Verma, K. N. Pandey, & Y. Sharma, "Effects of ER 4043 and ER 5356 Filler Wire on Mechanical Properties and Microstructure of Dissimilar Aluminium Alloys, 5083-O and 6061-T6 joint, Welded by The Metal Inert Gas Welding," Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, *Journal of Engineering Manufacture*, 229(6), pp.1021-1028, 2015.
- [9] R. Setiaji, *Pengujian Tarik*. Jakarta: Laboratorium Metalurgi Fisik FTUI, 2009.
- [10] ASTM E8/E8M-09, "Standard Specification for Aluminium and Aluminium Alloy Sheet and Plate," USA, 2009.
- [11] G. F. Vander Voort, S. R. Lampman, B. R. Sanders, G. J. Anton, C. Polakowski, J. Kinson, & J.R. Scott, *ASM Handbook Metallography and Microstructures*, Vol 9, ASM International, 2004.
- [12] BKI Indonesia, "Rules for The Classification and Construction: Volume VI Rules For Welding," Jakarta, 2019.
- [13] ASTM E23-18, "Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials 1," no. C, pp. 1-28, 2011.
- [14] G. A. Edwards, K. Stiller, G. L. Dunlop, & M. J. Couper, "The precipitation sequence in Al-Mg-Si Alloys," *Acta materialia*, 46(11), 3893-3904, 1998.
- [15] T. V. Rajan, C. P. Sharma, & A. Sharma, *Heat treatment: principles and techniques*. PHI Learning Pvt. Ltd., 2011.