



ISSN 2338-0322

# JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

## Pengaruh Perlakuan Panas (*Heat Treatment*) *Normalizing* Terhadap Kekuatan Impak Aluminium 6061 Pengelasan MIG dengan Variasi Posisi dan Bentuk Kampuh

Renita Wurdhani<sup>1)</sup>, Untung Budiarto<sup>2)</sup>, Wilma Amiruddin<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Laboratorium Pengelasan

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

<sup>\*</sup>e-mail : [renitawurdhani@gmail.com](mailto:renitawurdhani@gmail.com), [untungbudiarto@lecturer.undip.ac.id](mailto:untungbudiarto@lecturer.undip.ac.id), [wilmaamiruddin@gmail.com](mailto:wilmaamiruddin@gmail.com)

### Abstrak

Aluminium 6061 banyak digunakan dalam industri perkapalan sebagai rangka konstruksi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perlakuan panas *normalizing* terhadap kekuatan impak Aluminium 6061 pengelasan MIG dengan menggunakan variasi posisi 1G dan 2G serta bentuk kampuh *single V* dan *double V (X)* pada sudut 60°. Tujuan dari proses *normalizing* yaitu untuk mengurangi tegangan sisa, meningkatkan *machinability*, dan mendapatkan struktur yang homogen. Proses *heat treatment normalizing* dilakukan pada temperatur 415°C dengan waktu penahanan selama 30 menit. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa faktor perlakuan panas *normalizing* dapat mempengaruhi nilai kekuatannya. Untuk proses verifikasi material dilakukan pengujian tarik. Dari hasil pengujian impak didapatkan harga impak tertinggi yaitu spesimen raw material dengan perlakuan panas *normalizing* sebesar 0.457 J/mm<sup>2</sup>, lebih besar dibandingkan dengan raw material tanpa *normalizing* yaitu sebesar 0.445 J/mm<sup>2</sup>. Harga impak untuk raw material ini memenuhi standar pengujian impak ASTM E23. Pada material dengan pengelasan, harga impak tertinggi yaitu pada variasi bentuk kampuh V dan posisi pengelasan 2G sebesar 0.088 J/mm. Harga impak terendah dimiliki spesimen dengan variasi bentuk kampuh X posisi 1G tanpa perlakuan yaitu sebesar 0.050 J/mm<sup>2</sup>. Material yang diberikan perlakuan panas *normalizing* memiliki rata-rata harga impak lebih besar dibandingkan dengan spesimen tanpa perlakuan panas. Sehingga dapat disimpulkan bahwa perlakuan panas (*heat treatment*) *normalizing* dapat meningkatkan harga impak spesimen dengan pengelasan maupun tanpa pengelasan (*raw material*).

Kata Kunci : Aluminium 6061, Kekuatan Impak, Pengelasan MIG, *Normalizing*, 1G, 2G

### 1. PENDAHULUAN

Tingkat persaingan terhadap produksi industri manufaktur semakin memberi tuntutan akan terciptanya teknik baru yang dapat terlaksana secara komprehensif dan efisien. Banyak pembuatan produk atau komponen pada industri manufaktur yang membutuhkan penyambungan material khususnya pada bidang perkapalan, otomotif, penerbangan, dan lain-lain. Penyambungan material tersebut dapat dilakukan dengan teknologi pengelasan.

Terdapat beberapa jenis pengelasan, salah satunya adalah MIG (*Metal Inert Gas*). Pengelasan MIG (*Metal Inert Gas*) merupakan proses pengelasan yang terdapat panas yang dihasilkan

oleh busur las yang terbentuk dari elektroda kawat (*Wire Electrode*) dengan benda kerja. [1]

Dalam pengelasan MIG, pemilihan logam pengisi yang akurat adalah salah satu faktor terpenting yang perlu dipertimbangkan. Sifat kimiawi unsur dalam logam pengisi dengan gas pelindung menentukan sifat mekanik pada akhir dari pengelasan. [2]

Studi yang pernah dilakukan sebelumnya mempelajari pengaruh kawat pengisi ER4043 dan ER5356 pada sifat mekanik dan mikrostruktur paduan aluminium yang berbeda, sambungan 5083-O dan 6061-T6, yang dilas dengan proses pengelasan *metal inert gas* (MIG). Logam pengisi dengan kandungan Si yang banyak seperti seperti ER-4043 ditemukan lebih efektif untuk

mengurangi retakan panas pada lasan Al 6061. [3] Selain itu, ER-4043 juga berguna dalam meminimalkan lapisan senyawa intermetalik yang rapuh dan mencegah pembentukannya. [4]

Proses perlakuan panas (*Heat Treatment*) bertujuan untuk mengubah sifat dari bahan material agar lebih lunak, ulet dan menghilangkan tegangan sisa dari proses pengelasan, dalam proses perlakuan panas pada material dapat menghasilkan material yang awet untuk digunakan sebagai pelat bangunan kapal yang dapat mengurangi terjadinya deformasi dan meminimalisir penggantian pelat kapal pada saat reparasi. Perlakuan panas adalah proses kombinasi antara proses pemanasan dan pendinginan dari suatu logam untuk mendapatkan sifat material yang lebih baik. Dalam hal ini maka lama pemanasan terhadap suatu material sangat menentukan.

Proses *Normalizing* adalah salah satu proses *heat treatment* atau pemanasan baja hingga mencapai *austenite* agar diperoleh struktur mikro *austenite* yang selanjutnya didinginkan diudara terbuka hingga mencapai suhu kamar. Hal ini dapat merubah struktur dari material sehingga memperbaiki struktur mikro material dan dapat menghasilkan keuletan dan kekerasan pada material. [5]

Penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yaitu pengaruh perlakuan panas *normalizing* pada hasil pengelasan material aluminium 6061 terhadap sifat mekanik dan sifat fisis. Proses pengelasan ini menggunakan mesin *milling* dengan parameter *feedrate* 60 mm/menit, sudut kemiringan *tool* sebesar 3° dan kecepatan putaran *tool* 1500 rpm. Serta perlakuan panas *normalizing* dilakukan pada suhu 415°C dengan penahanan panas didalam tungku selama 2 jam. Hasil penelitian ini didapatkan nilai kekuatan tarik pada *raw material* lebih tinggi dibanding dengan *normalizing* dengan nilai tegangan tertinggi 96,84 MPa sedangkan *normalizing* sebesar 66,90 MPa. [6]

Media pengujian impact digunakan untuk menentukan sifat patahan suatu logam, keuletan dan kegetasannya. Uji impact adalah proses yang dilakukan agar didapatkan kualitas ketangguhan dan juga kedudukan sensitivitas sebuah bahan. Pengujian ini biasanya menggunakan bahan keramik, polimer dan komposit industri logam.

Terkait pengujian impact, penelitian yang sebelumnya telah dilakukan bertujuan untuk mengetahui hasil kekuatan tarik dan impact pada sambungan las dissimilar aluminium 5052 dan aluminium 6061 pengelasan MIG dengan variasi arus 180 Ampere, 190 Ampere dan 200 Ampere menggunakan jenis sambungan single v-butt joint 60°. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sambungan las dengan arus 180 Ampere memiliki

kekuatan tarik rata-rata 186.86 MPa dengan regangan 26.85%, kekuatan impact rata-rata 0.41 J/mm<sup>2</sup>. Spesimen dengan arus 190 Ampere memiliki kekuatan tarik rata-rata 178.01 MPa dengan regangan 26.07%, kekuatan impact rata-rata 0.28 J/mm<sup>2</sup>. Spesimen dengan arus 200 Ampere memiliki kekuatan tarik rata-rata 91.53 MPa dengan regangan 20.76%, kekuatan impact rata-rata 0.23 J/mm<sup>2</sup>. [7]

Berikutnya penelitian tentang kekuatan impact pada sambungan las baja A36. Setelah dilakukan pengelasan SMAW yang kemudian diberi perlakuan panas *normalizing* pada suhu 880° dengan variasi 2 waktu penahanan selama 20 menit dan 40 menit. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa baja A36 dengan perlakuan *normalizing* dengan waktu penahanan 20 menit memiliki harga impact lebih tinggi dari pemanasan 40 menit dengan rata-rata sebesar 1,595 J/mm<sup>2</sup> dan baja A36 dengan diberi perlakuan *normalizing* dengan waktu penahanan 40 menit memiliki harga impact dengan nilai rata-rata sebesar 1,56 J/mm<sup>2</sup>. Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa baja A36 dengan diberi perlakuan *normalizing* dengan waktu penahanan 20 menit memiliki kekuatan yang lebih besar dibandingkan spesimen yang diberi perlakuan *normalizing* dengan waktu penahanan 40 menit. [8]

Berdasarkan latar belakang dan hasil pengujian diatas, penelitian ini mengambil fokus pada “Pengaruh Perlakuan Panas *Normalizing* Terhadap Kekuatan Impact pada Aluminium 6061 Pengelasan MIG (*Metal Inert Gas*) dengan Variasi Posisi dan Bentuk Kampuh”.

Batasan masalah yang berfungsi sebagai acuan dalam penulisan proposal tugas akhir ini yaitu: jenis logam yang digunakan adalah Al 6061, pengelasan MIG dengan menggunakan variasi posisi 1G (*flat*) dan 2G (*horizontal*), bentuk kampuh *single V* dan *double V*, proses *Heat Treatment* menggunakan proses *Normalizing* pada temperatur 415°C dengan waktu penahanan selama 30 menit, dan penelitian dilakukan tanpa adanya analisis dengan bantuan *software*.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perlakuan panas *normalizing* terhadap kekuatan impact Aluminium 6061 pengelasan MIG dengan menggunakan variasi posisi 1G (*flat*) dan 2G (*horizontal*) serta bentuk kampuh *single V* dan *double V*.

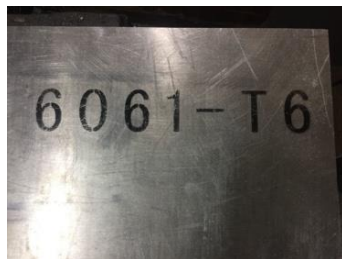
## 2. METODE

Data pada penelitian ini diperoleh dari jurnal, buku-buku referensi, modul, artikel, internet, serta studi lapangan secara langsung. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode eksperimen, yang mana pengujian impact dan

pengujian tarik dilakukan secara langsung di laboratorium, dengan mengacu pada buku-buku pedoman seperti ASM dan ASTM, serta artikel atau jurnal terkait penelitian dengan tema yang serupa.

### 2.1. Objek Penelitian

Objek yang diteliti pada penelitian tugas akhir ini adalah Aluminium 6061. Aluminium 6061 adalah jenis aluminium dengan paduan antara Al-Mg-Si. Aluminium ini termasuk banyak dipilih karena memiliki kekuatan yang baik dalam hal berat, keuletan yang baik, tahan korosi dan juga ketahanan retak. Gambar 1 menunjukkan plat aluminium 6061 T6.



Gambar 1. Plat Aluminium 6061

### 2.2. Pengelasan MIG

Penelitian tugas akhir ini menggunakan proses pengelasan MIG dengan elektroda ER4043 diameter 1.2mm. Penggunaan paduan seri 4xxx sebagai elektroda dikarenakan paduan tersebut telah ditambahkan Si dengan tujuan untuk mengurangi peleburan titik dan untuk meningkatkan fluiditas dalam keadaan cair. [9] Komposisi lengkap dari elektroda ER 4043 dapat dilihat pada tabel 1.

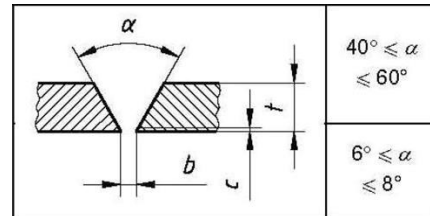
Tabel 1. Komposisi Kimia Elektroda ER4043[9]

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

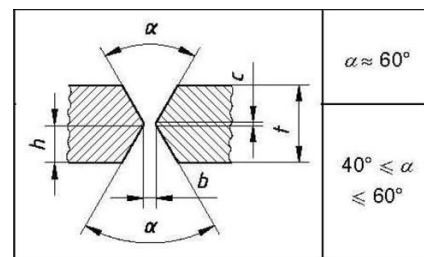
Proses pengelasan terbagi menjadi 2 parameter, parameter tetap dan parameter perubahan. Parameter tetap dalam proses pengelasan sebagai berikut:

- Kuat Arus 225 - 300 A
- Voltase 26 - 29 V
- Kapasitas Argon 50 cfh  $\approx$  23,6 l/min
- Sudut pengelasan: 60°

Sedangkan parameter perubahan dalam proses pengelasan ini terbagi menjadi 2 yaitu variasi posisi pengelasan dan variasi bentuk kampuh. Posisi pengelasan yang digunakan dalam penelitian ini adalah posisi 1G (*downhand position*) dan 2G (*horizontal position*) serta bentuk kampuh *single V* dan *double V (X)* seperti pada Gambar 2 dan 3. Proses pengelasan ini mengacu pada ISO 9692.



Gambar 2. Tipe Sambungan *Butt Welds Single V-Groove 60°* (dilas satu sisi)



Gambar 3. Tipe Sambungan *Butt Welds Double V-Groove 60°* (dilas kedua sisi)

### 2.3. Perlakuan Panas

Perlakuan panas (*heat treatment*) adalah proses kombinasi antara proses pemanasan dan pendinginan dari suatu logam untuk mendapatkan sifat material yang lebih baik. Dalam penelitian ini perlakuan panas yang digunakan adalah *normalizing*. Proses *normalizing* dilakukan dengan menggunakan furnace atau dapur panas seperti pada Gambar 4.



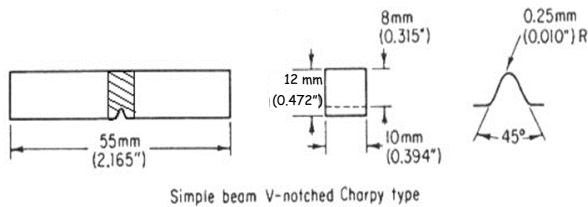
Gambar 4. Proses *normalizing*

Adapun tujuan dari proses *normalizing* itu sendiri yaitu untuk mengurangi tegangan sisa, meningkatkan *machinability*, dan mendapatkan struktur yang homogen. Lalu, untuk mengembalikan kepada sifat yang diinginkan terutama dalam ketangguhannya maka struktur yang berubah tadi dikembalikan lagi ke struktur yang semula melalui pemanasan pada waktu

tertentu dan dalam jangka waktu tertentu. [10] Dalam penelitian ini pemanasan dilakukan pada suhu 415°C dengan waktu penahanan selama 30 menit.

## 2.4. Pengujian Impak

Pengujian pada penelitian ini yaitu pengujian impak dengan menggunakan metode charpy. Proses yang dilakukan yaitu pengujian tumbuk dengan meletakkan posisi spesimen uji pada tumpuan dengan posisi horizontal atau mendatar, dan arah pembebanan berlawanan dengan arah takikan. Pembuatan spesimen pengujian mengacu pada standard ASTM E23, dengan dimensi seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Dimensi Spesimen Pengujian Impak

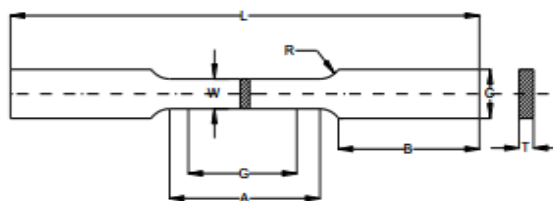
Keterangan :

Overall Length (L)	: 55 mm
Width (W)	: 10 mm
Thickness (T)	: 12 mm
Notch Thickness	: 2 mm
Notched Charpy	: 45°

## 2.5. Pengujian Tarik

Pengujian tarik merupakan pengujian yang dilakukan dengan cara memberikan gaya tarik pada material yang berlawanan dengan arah menjauh dari titik tengah, atau dengan memberikan gaya pada salah satu ujung benda dan ujung lainnya yang diikat hingga benda putus dengan tujuan untuk mengetahui sifat-sifat mekanis suatu logam dan paduannya, khususnya pada kekuatan tarik material tersebut. Pengujian tarik dapat menunjukkan beberapa fenomena perpatahan ulet dan getas yang dapat dilihat dengan mata telanjang. [11]

Dimensi spesimen pengujian tarik berdasarkan standard ASTM E8/E8M-09 [12]



Gambar 6. Dimensi Spesimen Pengujian Tarik

Keterangan:

Gage Length (G)	: 25 mm
Length of reduced section (A)	: 55 mm
Width (W)	: 12,5 mm
Thickness (T)	: 12 mm
Radius of fillet (R)	: 12,5 mm
Overall length	: 200 mm
Width of grip section	: 20 mm
Length of grip section	: 50 mm

## 2.6. Alat dan Bahan

Peralatan dan bahan penelitian merupakan sarana yang digunakan dalam pembuatan spesimen maupun pengambilan data. Dalam penelitian ini, alat dan bahan yang digunakan antara lain:

1. Plat aluminium 6061
2. Mesin bubut
3. Elektroda ER4043
4. Mesin las MIG
5. Dapur panas (*furnace*)
6. Mesin uji impak
7. Mesin uji tarik

Serta jumlah total spesimen yang dibutuhkan sebagai berikut:

Tabel 2. Kebutuhan Spesimen

Pengujian	Heat Treatment Normalizing		Non Heat Treatment		RM	
	1G	2G	1G	2G		
(Posisi) (Kampuh)	V	X	V	X	V	X
Impak	4	4	4	4	4	4
Tarik	1	1	-	-	1	1

Tabel 2 menunjukkan kebutuhan specimen untuk pengujian yaitu 42 spesimen. Namun dalam pelaksanaannya hanya 38 spesimen yang digunakan.

## 2.7. Lokasi Penelitian

Proses pengelasan MIG pada penelitian ini dilakukan di laboratorium las *Inlastek Welding Institute*, Surakarta. Sedangkan untuk pengujian impak serta pengujian tarik dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik Departemen Teknik Mesin Sekolah Vokasi Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Komposisi Material

Pengujian komposisi material bertujuan untuk mengetahui karakteristik dari logam *alloy*. Unsur-unsur yang terkandung dalam baja sangat mempengaruhi sifat mekanis dari *alloy* tersebut. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Aluminium Alloy 6061. Komposisi dari Aluminium 6061 dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Uji Komposisi [13]

Unsur	Berat %	Kandungan %
Al	97.14	97.68
Mg	1.09	1.22
Si	0.54	0.53
Cr	0.21	0.11
Mn	0.24	0.12
Fe	0.35	0.17
Cu	0.16	0.07
Zn	0.26	0.11

### 3.2. Verifikasi Material dengan Pengujian Tarik (*Tensile Strength*)

Verifikasi material dalam penelitian ini bertujuan untuk membuktikan sifat-sifat mekanik pada aluminium 6061 dengan menggunakan pengujian tarik. Sifat-sifat mekanik aluminium 6061 pada Tabel 4 didapatkan dari ASM Handbook.

Tabel 4. Sifat-Sifat Mekanik Aluminium 6061

Sifat Mekanik		Metrik
Tegangan Tarik Max (Ultimate Tensile Strength)	$\sigma_u$	310 Mpa
Tegangan Luluh (Yield Strength)	$\sigma_{ys}$	276 Mpa
Modulus Elastisitas	E	68.9 Gpa

Pengujian tarik dilakukan di Laboratorium Teknik Bahan Universitas Gadjah Mada (UGM), Yogyakarta. Hasil dari pengujian tarik adalah nilai tegangan tarik, regangan tarik, dan modulus elastisitas, yang dapat digunakan untuk mengetahui kekuatan tarik dari material aluminium 6061 pengelasan MIG (*Metal Inert Gas*) dengan dan tanpa perlakuan panas *normalizing*. Pengujian tarik ini menggunakan standar uji ASTM E8.

#### 1. Tegangan Tarik

Tegangan tarik merupakan tegangan maksimal yang dapat ditanggung oleh material sebelum terjadinya perputahan (*fracture*). Berdasarkan hasil pengujian, nilai tegangan tarik maksimum yang didapatkan dari material aluminium 6061 dengan dan tanpa perlakuan panas *normalizing* adalah sebagai berikut:

Tabel 5. Data Hasil Pengujian Tegangan Tarik

Kode	Tegangan Luluh ( $\sigma_y$ ) (MPa)	Tegangan ( $\sigma_{max}$ ) (MPa)
RM	170.24	301.97
T.RM	139.49	290.94

Data pada Tabel 5, dapat dilihat bahwa nilai tegangan tarik maksimal (*ultimate tensile strength*) spesimen *raw material* yaitu sebesar 301.97 MPa. Nilai ini sudah mendekati dari *material properties* aluminium 6061. Sedangkan untuk spesimen *raw material* dengan perlakuan panas *normalizing* memiliki nilai tegangan tarik sebesar 290.94 MPa.

Nilai tegangan luluh pada spesimen *raw material* sebesar 170.24 MPa, sedangkan spesimen dengan perlakuan panas *normalizing* memiliki nilai tegangan luluh sebesar 139.49 MPa.

#### 2. Regangan Tarik

Regangan tarik maksimal dapat menunjukkan pertambahan panjang dari suatu material setelah perputahan terhadap panjang awalnya. Berdasarkan hasil pengujian tarik, nilai regangan tarik yang didapatkan dari material aluminium 6061 dengan dan tanpa perlakuan panas *normalizing* adalah sebagai berikut :

Tabel 6. Data Hasil Pengujian Regangan Tarik

Kode	Tegangan ( $\sigma_{max}$ ) (MPa)	Regangan (%)
RM	301.97	26.4
T.RM	290.94	26.7

Berdasarkan data pada tabel 6, didapatkan nilai regangan tarik pada *raw material* yaitu sebesar 26.4%, sedangkan pada spesimen *raw material* dengan perlakuan panas *normalizing* memiliki nilai regangan tarik sebesar 26.7%.

#### 3. Modulus Elastisitas

Hasil dari tegangan tarik dan regangan tarik dapat digunakan untuk menghitung modulus elastisitas dengan rumus yaitu,

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (1)$$

Dimana, E adalah Modulus elastisitas (MPa),  $\sigma$  adalah Tegangan Maksimum (KN/mm<sup>2</sup>), dan  $\epsilon$  adalah Regangan Luluh (%). [14]

Tabel 7. Data Hasil Modulus Elastisitas

Kode	Tegangan Luluh ( $\sigma_y$ ) (MPa)	Regangan Luluh ( $\epsilon$ ) (%)	Modulus Elastisitas E (GPa)
RM	170.24	2.4	70.933
T.RM	139.49	1.089	127.996

Data pada Tabel 7, didapatkan nilai modulus elastisitas pada *raw material* yaitu sebesar 70.933 GPa, sedangkan pada spesimen *raw material* dengan perlakuan panas *normalizing* memiliki nilai modulus elastisitas sebesar 127.996 GPa.

### 3.3. Hasil Pengujian Impak (*Impact Strength*)

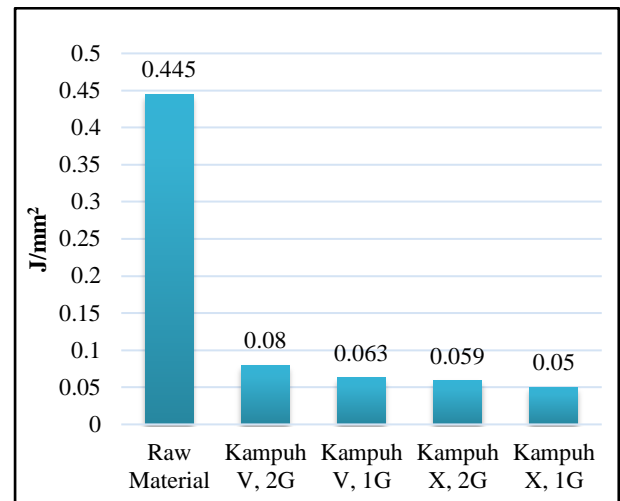
Pengujian impak pada penelitian ini dikelompokkan menjadi 2 hasil, yaitu:

#### A. Spesimen Tanpa Perlakuan Panas (*Non Heat Treatment*)

Tabel 8. Data Hasil Uji Impak (Non HT)

Kode	Energi Terserap (J)	Luas ( $\text{mm}^2$ )	Nilai Impak ( $\text{J/mm}^2$ )	Rata-Rata
RM.1	39.3	85.70	0.459	0.445
RM.2	37.2	86.14	0.431	
V.2G.1	7.4	86.23	0.085	0.080
V.2G.2	6.6	85.10	0.077	
V.2G.3	7.4	83.76	0.088	
V.2G.4	6.6	84.42	0.078	
V.1G.1	5.1	85.66	0.059	0.063
V.1G.2	5.8	89.40	0.065	
V.1G.3	5.1	84.13	0.060	
V.1G.4	5.8	88.50	0.066	
X.2G.1	5.1	85.70	0.059	0.059
X.2G.2	5.8	86.00	0.068	
X.2G.3	5.1	85.34	0.059	
X.2G.4	5.1	85.07	0.059	
X.1G.1	4.3	86.98	0.050	0.050
X.1G.2	5.1	87.10	0.058	
X.1G.3	4.3	86.05	0.050	
X.1G.4	4.3	85.66	0.050	

Data hasil pengujian impak pada tabel 8 menunjukkan rata-rata nilai impak spesimen tanpa perlakuan panas. Terdapat beberapa keterangan perihal simpangan atau standar deviasi, antara lain: pada spesimen V.2G.3, X.2G.3, dan X.1G.2 memiliki simpangan yang terlalu besar sehingga tidak dimasukkan ke dalam perhitungan nilai rata-rata.

Gambar 5. Grafik Nilai Impak *Non-Treatment*

Berdasarkan data pada tabel 8, nilai impak rata-rata pada spesimen tanpa pengelasan (*raw material*) sebesar 0.445  $\text{J/mm}^2$ . Selanjutnya untuk spesimen dengan posisi pengelasan 2G, bentuk kampuh V memiliki nilai rata-rata 0.08  $\text{J/mm}^2$ . Spesimen dengan bentuk kampuh V posisi pengelasan 1G memiliki nilai rata-rata 0.063  $\text{J/mm}^2$ . Lalu untuk spesimen dengan posisi pengelasan 2G, bentuk kampuh X memiliki nilai rata-rata 0.059  $\text{J/mm}^2$ . Terakhir, spesimen dengan bentuk kampuh X posisi pengelasan 1G memiliki nilai rata-rata 0.05  $\text{J/mm}^2$ .

Berdasarkan data hasil pengujian yang tertera dalam grafik Gambar 5, spesimen *raw material* memiliki harga impak rata-rata terbesar yaitu 0.445  $\text{J/mm}^2$ . Pada spesimen dengan pengelasan posisi 2G, bentuk kampuh V memiliki nilai impak rata-rata yang bernilai lebih besar dibandingkan dengan bentuk kampuh X. Begitu juga pada spesimen yang dilas dengan posisi 1G, nilai impak rata-rata pada kampuh bentuk V lebih besar daripada bentuk kampuh X. Sehingga dapat disimpulkan bahwa spesimen dengan bentuk kampuh V memiliki nilai impak lebih besar dibandingkan dengan kampuh X.

#### B. Spesimen dengan Perlakuan Panas (*Heat Treatment*) *Normalizing*

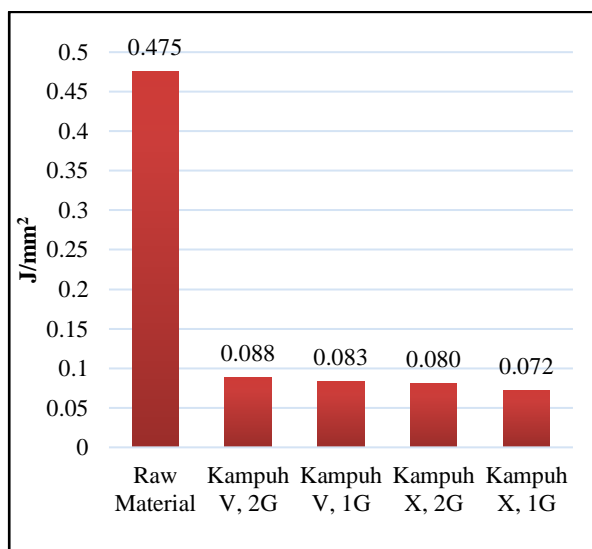
Tabel 9. Data Hasil Uji Impak (*Normalizing*)

Kode	Energi Terserap (J)	Luas ( $\text{mm}^2$ )	Nilai Impak ( $\text{J/mm}^2$ )	Rata-Rata
T.RM.1	41.5	85.70	0.484	0.475
T.RM.2	40.4	86.70	0.466	
T.V.2G.1	7.4	86.17	0.085	0.092
T.V.2G.2	7.4	78.40	0.094	
T.V.2G.3	8.1	80.71	0.101	
T.V.2G.4	7.4	85.46	0.086	



T.V.1G.1	6.6	85.21	0.077	
T.V.1G.2	7.4	85.91	0.086	0.088
T.V.1G.3	7.4	86.20	0.085	
T.V.1G.4	7.4	87.30	0.084	
T.X.2G.1	6.5	86.82	0.076	
T.X.2G.2	7.4	87.74	0.084	0.080
T.X.2G.3	6.6	87.49	0.075	
T.X.2G.4	7.4	85.56	0.086	
T.X.1G.1	5.8	85.53	0.068	
T.X.1G.2	6.6	87.13	0.075	0.072
T.X.1G.3	5.8	85.73	0.068	
T.X.1G.4	6.6	86.49	0.076	

Data hasil pengujian impact pada tabel 9 menunjukkan rata-rata nilai impact spesimen dengan perlakuan panas *normalizing*. Keterangan terkait standar deviasi pada data tersebut yaitu, pada spesimen T.V.2G.3 memiliki simpangan terlalu besar sehingga tidak dimasukkan ke dalam nilai rata-rata.

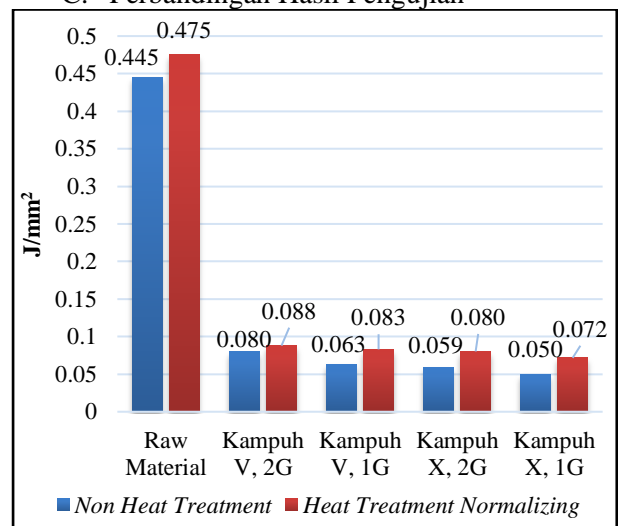


Gambar 6. Grafik Nilai Impact dengan Heat Treatment

Pengujian impact pada spesimen yang sebelumnya telah dilakukan *Heat Treatment Normalizing* menghasilkan data sebagaimana yang terlihat pada Tabel 8. Harga impact rata-rata pada spesimen *raw material* sebesar 0.475 J/mm<sup>2</sup>. Spesimen dengan dengan bentuk kampuh V posisi pengelasan 2G memiliki nilai rata-rata sebesar 0.088 J/mm<sup>2</sup>. Selanjutnya spesimen dengan bentuk kampuh V posisi pengelasan 1G memiliki nilai rata-rata 0.083 J/mm<sup>2</sup>. Spesimen dengan bentuk kampuh X posisi pengelasan 2G memiliki nilai rata-rata 0.08 J/mm<sup>2</sup>. Terakhir spesimen dengan bentuk kampuh X posisi pengelasan 1G memiliki rata-rata 0.072 J/mm<sup>2</sup>.

Grafik pada Gambar 6 menunjukkan rata-rata nilai impact tertinggi yaitu pada raw material *normalizing* sebesar 0.475 J/mm<sup>2</sup>. Selanjutnya, spesimen dengan posisi pengelasan 1G, bentuk kampuh V memiliki nilai impact rata-rata lebih besar bila dibandingkan dengan bentuk kampuh X. Begitu pula dengan spesimen posisi pengelasan 2G, nilai impact rata-rata pada bentuk kampuh V lebih besar dibandingkan dengan bentuk kampuh X. Sehingga dapat disimpulkan bahwa spesimen dengan bentuk kampuh V memiliki nilai impact lebih besar dibandingkan dengan kampuh X.

### C. Perbandingan Hasil Pengujian



Gambar 7. Grafik Perbandingan Rata-Rata Nilai Impact

Berdasarkan grafik perbandingan nilai impact rata-rata pada Gambar 7, dapat diketahui spesimen raw material *non-heat treatment* memiliki nilai impact rata-rata 0.445 J/mm<sup>2</sup>, sedangkan spesimen raw material dengan *heat treatment normalizing* memiliki nilai impact 0.475 J/mm<sup>2</sup>. Nilai impact rata-rata spesimen raw material dengan *normalizing* lebih besar daripada *non normalizing*. Hasil yang sama juga berlaku pada spesimen dengan beberapa variasi. Spesimen dengan variasi bentuk kampuh dan posisi pengelasan yang diberikan perlakuan panas *normalizing* memiliki nilai impact lebih besar jika dibandingkan dengan spesimen yang tanpa diberikan perlakuan panas. Sehingga dapat disimpulkan bahwa perlakuan panas (*heat treatment*) *normalizing* dapat meningkatkan nilai impact spesimen dengan pengelasan maupun tanpa pengelasan (*raw material*).

### 3.4 Perbandingan Hasil Pengujian dengan Standar ASTM E23

Berdasarkan standar ASTM E23, material tanpa pengelasan harus mempunyai standar nilai impact minimal 0.40 J/mm<sup>2</sup>. Sedangkan untuk

material dengan pengelasan harus memiliki nilai impact minimum 0.10 J/mm<sup>2</sup>. Standar tersebut dapat dilihat pada Tabel 10 dan Tabel 11.

Tabel 10. Standar ASTM E23 untuk Material Tanpa Pengelasan

<b>Range Capacity J</b>	<b>Usable Range J</b>	<b>Verified Range J</b>	<b>Energi J/mm<sup>2</sup></b>
<b>100</b>	2.5 to 80	2.5 to 80	0.40
<b>200</b>	5.0 to 160	5.0 to 160	0.50
<b>325</b>	6.25 to 260	6.25 to 260	0.60
<b>400</b>	7.5 to 320	50 to 320	0.70
<b>400</b>	3.75 to 320	3.75 to 150	0.45
<b>400</b>	3.75 to 320	3.75 to 320	0.45

Berdasarkan hasil pengujian impact, nilai impact *raw material*, baik yang diberi perlakuan panas *normalizing* maupun yang tidak, sudah memenuhi standar nilai impact pada ASTM E23. Spesimen *raw material* dengan perlakuan panas *normalizing* memiliki nilai impact rata-rata sebesar 0.457 J/mm<sup>2</sup> dan spesimen tanpa *normalizing* sebesar 0.445 J/mm<sup>2</sup>.

Tabel 11. Standar ASTM E23 untuk Material dengan Pengelasan

<b>Range Capacity J</b>	<b>Usable Range J</b>	<b>Verified Range J</b>	<b>Energi J/mm<sup>2</sup></b>
<b>100</b>	2.5 to 80	2.5 to 80	0.10
<b>200</b>	5.0 to 160	5.0 to 160	0.20
<b>325</b>	6.25 to 260	6.25 to 260	0.25
<b>400</b>	7.5 to 320	50 to 320	0.30
<b>400</b>	3.75 to 320	3.75 to 150	0.15
<b>400</b>	3.75 to 320	3.75 to 320	0.15

Untuk spesimen dengan pengelasan, rata-rata nilai impact dari hasil pengujian belum memenuhi standar ASTM E23 dengan nilai minimal yaitu 0.10 J/mm<sup>2</sup>. Namun demikian, hanya ada satu spesimen yang memenuhi standar yaitu pada pengelasan 2G bentuk kampuh V dengan perlakuan panas *normalizing* sebesar 0.101 J/mm<sup>2</sup>. Penurunan nilai impact pada sambungan las aluminium 6061 dibandingkan dengan standar ASTM E23 dapat disebabkan kurangnya kualitas sambungan yang dihasilkan ketika proses pengelasan sehingga hasilnya tidak maksimal. Beberapa faktor penyebab diantaranya seperti diameter elektroda yang digunakan tidak sesuai dengan spesifikasi perencanaan, *voltage* atau tegangan yang digunakan lebih kecil saat pengelasan, maupun kapasitas gas argon yang digunakan lebih rendah dari perencanaan, sehingga kedepannya perlu diperhatikan lebih rinci lagi saat proses pengelasan agar mendapatkan hasil yang maksimal.

#### 4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil setelah dilakukan penelitian pengaruh perlakuan panas *normalizing* terhadap kekuatan impact dan tarik pada pengelasan MIG aluminium 6061 yaitu sebagai berikut :

Nilai impact tertinggi yaitu pada spesimen *raw material* dengan perlakuan panas *normalizing* sebesar 0.457 J/mm<sup>2</sup>. Sedangkan spesimen *raw material* tanpa *normalizing* memiliki nilai impact sebesar 0.445 J/mm<sup>2</sup>. Jadi, spesimen *raw material* dengan perlakuan panas *normalizing* memiliki nilai impact yang lebih besar dibandingkan dengan spesimen tanpa *heat treatment*. Nilai impact untuk *raw material* ini memenuhi standar pengujian impact ASTM E23 dengan nilai minimal yaitu 0.40 J/mm<sup>2</sup>.

Material dengan pengelasan didapatkan nilai impact tertinggi yaitu pada variasi bentuk kampuh V dan posisi pengelasan 2G sebesar 0.088 J/mm<sup>2</sup>. Nilai impact terendah dimiliki spesimen dengan variasi bentuk kampuh X posisi 1G tanpa perlakuan yaitu sebesar 0.050 J/mm<sup>2</sup>. Spesimen dengan variasi posisi pengelasan 1G dan bentuk kampuh V memiliki nilai impact lebih besar dibanding dengan kampuh X, begitu pula pada spesimen dengan posisi 2G. Namun demikian, hanya ada satu spesimen yang memenuhi standar yaitu pada pengelasan 2G bentuk kampuh V dengan perlakuan panas *normalizing*, selebihnya nilai impact rata-rata pada material pengelasan belum memenuhi standar ASTM E23.

Beberapa faktor yang menyebabkan penurunan nilai impact sehingga belum memenuhi standar ASTM E23 diantaranya seperti diameter elektroda, tegangan atau *voltage*, maupun kapasitas gas argon yang digunakan. Sehingga untuk kedepannya diharapkan dapat lebih diperhatikan lagi secara rinci saat proses pengelasan agar mendapatkan hasil yang maksimal.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Dosen Pembimbing 1 dan Dosen Pembimbing 2, Dosen Penguji, serta semua pihak yang terlibat dalam proses penelitian ini.



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Asrul, K. Kamil, and M. H. Asiri, "Analisis Kekuatan Sambungan Las Metal Inert Gas (MIG) pada Logam Aluminium Paduan AA6063 dengan Variasi Arus Listrik," *Tek. Mesin" Teknol.*, vol. 18, no. 1 Apr, 2018.
- [2] I. Sabry, A. Hamid, and D. T. Thekkuden, "Optimization of metal inert gas - welded aluminium 6061 pipe parameters using analysis of variance and grey relational analysis," *SN Appl. Sci.*, vol. 2, no. 2, pp. 1–11, 2020.
- [3] R. P. Verma, K. N. Pandey, and Y. Sharma, "Effect of ER4043 and ER5356 filler wire on mechanical properties and microstructure of dissimilar aluminium alloys, 5083-O and 6061-T6 joint, welded by the metal inert gas welding," *Proc. Inst. Mech. Eng. Part B J. Eng. Manuf.*, vol. 229, no. 6, pp. 1021–1028, 2015.
- [4] L. H. Shah, N. Azhani, A. Razak, A. Juliawati, and M. Ishak, "Investigation on the Mechanical Properties of TIG Welded AA6061 Alloy Weldments Using Different Aluminium Fillers.," *GSTF J. Eng. Technol.*, vol. 2, no. 2, 2013.
- [5] N. R. Mandal, *Ship construction and welding*. Springer, 2017.
- [6] B. E. Saputro, "Analisa Pengaruh Perlakuan Panas Hasil Pengelasan Dengan Metode Friction Stir Welding (FSW) Pada Aluminium Sejenis (Al Serie AA-6061) Terhadap Sifat Fisis Dan Mekanis," 2019.
- [7] B. Ardianto, U. Budiarto, and W. Amiruddin, "Pengaruh Kuat Arus Listrik dan Kecepatan Las Terhadap Kekuatan Tarik, Impak, dan Mikrografi Pada Sambungan Las Dissimilar Aluminium AA 5052-AA 6061 Dengan Metode Pengelasan Metal Inert Gas (MIG)," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 6, no. 4, 2018.
- [8] M. Dikwan, S. Jokosisworo, and A. F. Zakki, "Pengaruh Normalizing Terhadap Kekuatan Tarik, Impak, dan Mikrografi Pada Sambungan Las Baja A36 Akibat Pengelasan Shielded-Metal Arc Welding (SMAW) dengan Variasi 2 waktu Pemanasan," vol. 7, no. 4, pp. 440–448, 2019.
- [9] S. Jannet, P. K. Mathews, and R. Raja, "Comparative investigation of friction stir welding and fusion welding of 6061-T6 and 5083-O aluminum alloy based on mechanical properties and microstructure," vol. 61, no. 2, pp. 181–186, 2013.
- [10] T. J. McCaffrey and A. S. M. Handbook, "01, Properties and Selection: Irons, Steels, and High-Performance Alloys," *ASM Int. Mater. Park. Ohio*, 1990.
- [11] R. Setiaji, "Pengujian Tarik," 2009.
- [12] A. INTERNATIONAL, *ASTM E8/E8M-16a, Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials, Volume 03.01*. 2016.
- [13] J. Ridhwan, J. A. Noor, M. S. Zakaria, Z. Zulfattah, and M. H. M. Hafidzal, "EFFECT OF HEAT TREATMENT ON MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF 6061 ALUMINUM ALLOY," vol. 5, no. 1, pp. 89–98, 2014.
- [14] A. H. Yuwono, "Buku Panduan Praktikum Karakterisasi Material 1 Pengujian Merusak (Destructive Testing)," *Jakarta Dep. Metal. dan Mater. Fak. Tek. Univ. Indones.*, 2009.