



ISSN 2338-0322

# JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

## Analisa Sifat Mekanik Pengelasan GMAW (*Gas Metal Arc Welding*) Alumunium 6061 dengan Variasi *Holding Time* pada Proses *Normalizing*

Nanda Rizki Yani Liara<sup>1)\*</sup>, Sarjito Jokosisworo<sup>1)</sup>, Untung Budiarto<sup>1)</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 : [nandarizkiyanii@gmail.com](mailto:nandarizkiyanii@gmail.com)

### Abstrak

Alumunium 6061 termasuk logam unsur jenis non-ferro yang bersifat ulet, mudah teroksidasi dan tahan terhadap korosi. Las GMAW merupakan pengelasan logam sejenis dengan memanfaatkan bahan tambahan berupa kawat puntalan dan gas pelindung. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui nilai hasil dari kekuatan uji tarik, uji tekuk, uji dampak dan struktur mikro alumunium 6061 jenis las GMAW suhu normalizing 415°C. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen setelah perlakuan normalizing holding time 30, 60 dan 90 menit. Penelitian ini menghasilkan bahwa spesimen nilai rata-rata kekuatan tarik tertinggi normalizing 30 menit sebesar 174,97 Mpa. Untuk nilai regangan tertinggi dari pada normalizing 90 menit sebesar 17,50 %. Nilai tertinggi modulus elastisitas rata-rata yaitu normalizing 30 menit sebesar 13,97 Gpa. Nilai rata-rata tegangan tekuk tertinggi didapat dari normalizing 90 menit sebesar 259,64 Mpa. Pengujian dampak nilai dampak tertinggi dari normalizing 90 menit sebesar 0,086 J/mm<sup>2</sup>. Dan uji mikro Spesimen normalizing 90 menit memiliki besar butir material lebih besar. Sehingga dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa normalizing 30 menit untuk uji tarik memiliki nilai yang lebih besar, sedangkan untuk pengujian tekuk normalizing 90 menit memiliki nilai tekuk yang lebih besar.

Kata Kunci : Alumunium 6061, Las GMAW, Normalizing

### 1. PENDAHULUAN

Bahan – bahan material yang dipakai untuk membuat kapal harus sesuai kebutuhan dan memenuhi standar regulasi yang ada. Salah satu contoh bahan material yang bisa digunakan dalam pembuatan kapal yaitu Alumunium.

Alumunium merupakan salah satu unsur logam dengan jenis non-ferro dikarenakan material beban yang terkandung didalamnya lebih rendah dan ringan dibanding baja. Alumunium bersifat ulet dan juga memiliki sifat mudah teroksidasi dengan oksigen, hal ini yang membuat alumunium tahan terhadap korosi [1].

Material alumunium yang digunakan untuk bahan pembuatan kapal biasanya alumunium jenis 6061. Alumunium jenis ini bisa digunakan untuk struktur kapal seperti *stiffener*, lambung dan pada bagian deck kapal [2].

*Welding*/pengelasan merupakan teknologi penyambungan material yang termasuk dalam salah satu keperluan yang utama pada pembangunan suatu *infrastruktur*. Las GMAW adalah penyambungan logam atau pengelasan sejenis yang memanfaatkan bahan tambahan lain berupa puntalan kawat dan gas pelindung [3].

*Normalizing* merupakan perlakuan panas dengan cara memanaskan logam pada suhu

tertentu sampai *fase austenite*, lalu dilakukan *holding time* dan kemudian logam tersebut didinginkan secara perlahan dengan bantuan media pendingin udara hingga mencapai suhu kamar. Perlakuan tersebut bertujuan untuk membuat struktur material agar balik ke struktur normal setelah mendapatkan perlakuan mekanik, baik pada temperatur tinggi atau rendah serta mengurangi tegangan - tegangan sisa [4] .

Penelitian tentang *normalizing* 30 menit dan 60 menit pada baja SS400 las SAW dengan variasi *holding time*. Dari penelitian tersebut menghasilkan bahwa baja SS400 dengan tipe las SAW *normalizing* 60 menit memiliki kekuatan yang lebih besar dan memiliki sifat kekerasan serta keuletan yang lebih besar. Kekuatan tegangan tarik maksimum *normalizing* 60 menit yang dihasilkan sebesar 214,67 Mpa dan kekuatan tegangan tekuk sebesar 385,73 MPa. Pengelasan baja SS400 las SAW variasi *normalizing* 60 menit memiliki kerapatan lebih tinggi dan memiliki *fasa ferrite* yang cukup dominan dibandingkan spesimen *normalizing* 30 menit [5].

Penelitian tentang *normalizing* 880°C pada material baja ST 46 menggunakan variasi *holding time*, menghasilkan bahwa semakin cepat proses penahanan panas pada spesimen uji tarik maka tegangan maksimum yang dihasilkan semakin tinggi dan tegangan luluh. *Normalizing* 20 menit cenderung lebih keras pada pengujian kekerasan dibandingkan *normalizing* 40 menit. Variasi *normalizing* pada uji *mikrografi* menghasilkan struktur yang [6].

Penelitian tentang las GMAW dan GTAW material aluminium 6061 dengan variasi arus pengelasan sebesar 155 Amp, 165 Amp dan 175 Amp. Hasil penelitian tersebut menghasilkan bahwa kampuh *single bevel butt* memiliki kecocokan yang lebih baik untuk pengelasan GMAW dan arus yang paling baik untuk las GMAW sebesar 165 Amp dengan kekuatan tarik 170,13 N/mm<sup>2</sup>. Nilai uji kekerasan tertinggi dihasilkan oleh variasi arus sebesar 165 Amp [7].

Penelitian tentang pengelasan MIG dengan variasi posisi dan bentuk kampuh aluminium 6061 menggunakan perlakuan panas (*heat treatment*). Penelitian menghasilkan bahwa material dengan perlakuan panas *normalizing* dengan pengelasan maupun tanpa pengelasan (*raw material*) dapat meningkatkan harga impak. Dari variasi bentuk kampuh V dan posisi pengelasan 2G menghasilkan nilai impak tertinggi sebesar 0.088 J/mm<sup>2</sup> dan spesimen tanpa *normalizing* dengan variasi bentuk kampuh X posisi 1G menghasilkan nilai terendah yaitu sebesar 0.050 J/mm<sup>2</sup> [8].

Bedasarkan paparan diatas maka penulis tertarik meneliti penelitian dengan judul “Analisa Sifat Mekanik Pengelasan GMAW (*Gas Metal Arc Welding*) Alumunium 6061 dengan Variasi *Holding Time* pada Proses *Normalizing*“.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui suatu nilai dari kekuatan uji tarik, uji tekuk, uji impak dan perubahan struktur mikro pada sambungan material alumunium 6061 dengan pengelasan GMAW setelah diberi *heat treatment* berupa *normalizing* sebesar 415°C dengan variasi waktu penahanan (*holding time*) yang dipakai 30 menit, 60 menit dan 90 menit.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1. Objek penelitian

Penelitian tugas akhir ini data yang diperoleh dari jurnal, artikel, modul, buku – buku referensi, internet dan studi secara langsung dilapangan. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dimana semua pengujian spesimen baik uji tarik, uji tekuk, uji impak dan uji *mikrografi* dilakukan di laboratorium langsung.

Penelitian tugas akhir ini objek yang teliti adalah Alumunium 6061. Alumunium jenis ini merupakan salah satu alumunium yang sering digunakan di bagian konstruksi bangunan kapal seperti lambung, *stiffner*, atau bagian deck. Alumunium 6061 memiliki sifat mekanik (*mechanical properties*) yang baik juga tahan terhadap korosi. Plat alumunium ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Alumunium 6061

Penelitian ini menggunakan tipe pengelasan GMAW (*Gas Metal Arc Welding*) dengan elektroda ER4043 diameter 1.2 mm. Penggunaan elektroda paduan seri 4xxx dikarenakan paduan tersebut telah ditambahkan Si dengan tujuan untuk mengurangi peleburan titik dan untuk meningkatkan fluiditas dalam keadaan cair.

Pada gambar 2 dan tabel 1 merupakan elektroda ER4043 dan komposisi kimia yang terkandung dalam elektroda ER 4043 tersebut.



Gambar 2. Elektoda ER 4043

Tabel 1. Komposisi Kimia Elektroda ER4043

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

Penelitian ini menggunakan jenis *Butt joint double v – Groove 60°* untuk sambungan las dan posisi pengelasan 1G (*flat*) kuat ampere sebesar 165A.

## 2.2. Parameter Penelitian

### A. Parameter Tetap

Penelitian ini memiliki parameter tetap yaitu sebagai berikut :

- Jenis pengelasan : GMAW
- Mesin Las : PATEN
- Jenis Elektroda : ER 4043 (1,2 mm)
- Logam induk : Alumunium 6061
- Tebal Alumunium: 10 mm
- Shielded Gas* : Argon
- Kapastias Argon : 15 Liter/menit
- Posisi Pengelasan: 1G
- Sudut kampuh : *Double V butt joint 60°*
- Voltage* : 23 V
- Kuat Arus : 165 A
- Travel Speed* : 12 cm/menit

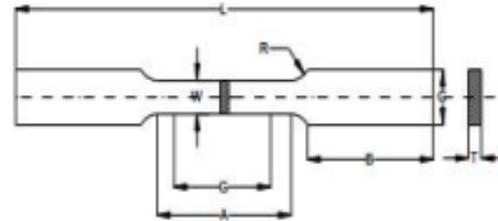
### B. Parameter Perubahan

Parameter perubahan yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini yaitu waktu penahannya (*holding time*) pada saat proses *normalizing* yaitu: 30 menit, 60 menit dan 90 menit.

## 2.3. Spesimen Benda Uji

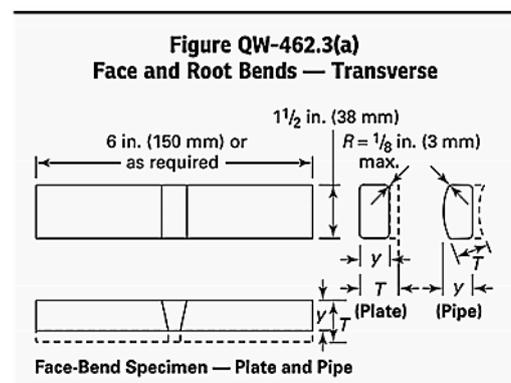
Penelitian tugas akhir ini mengacu pada ASTM E8 untuk standar ukuran spesimen uji

tarik, standar ASTM E19014 untuk spesimen uji tekuk, dan standar ASTM E23 untuk spesimen uji impak, bentuk dimensi benda uji pada gambar 3, 4 dan 5.



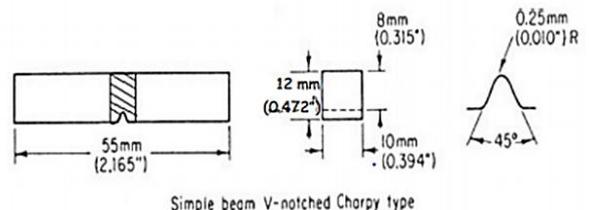
Gambar 3. Bentuk Spesimen Uji Tarik

Keterangan	Panjang
<i>Gage Length (G)</i>	50,0 mm
<i>Length of reduced section (A)</i>	57 mm
<i>Width (W)</i>	12,5 mm
<i>Thickness (T)</i>	10 mm
<i>Radius of fillet (R)</i>	12,5 mm
<i>Overall length</i>	200 mm
<i>Width of grip section</i>	20 mm
<i>Length of grip section</i>	50 mm



Gambar 4. Bentuk Spesimen Tekuk

Keterangan	Panjang
<i>Overall Length (L)</i>	150 mm
<i>Width (W)</i>	38 mm
<i>Thickness (T)</i>	10 mm



Gambar 5. Bentuk Spesimen Uji Impak

## 2.4. Lokasi Penelitian

Proses pemotongan plat ,pengelasan dan pembuatan specimen benda uji pada penelitian ini dilakukan di Laboratorium las *Inlastek welding*

insitute, Surakarta. Proses *heat treatment* dan uji *mikrografi* sendiri di Laboratorium Material Teknik Mesin Universitas Diponegoro. Sedangkan untuk uji tarik, uji tekuk dan uji impak di Laboratorium Las dan Material Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Hasil Pengelasan dan Heat Input

Penelitian tugas akhir ini menggunakan jenis pengelasan GMAW dengan mempertimbangkan diameter elektroda, sudut kampuh *voltage* dan ampere dengan tujuan masukan panas (*heat input*) dan penetrasi sambungan las dapat maksimal. Dari pengelasan GMAW yang sudah dilakukan didapatkan nilai *heat input* sebesar

$$\begin{aligned} \text{Heat Input Spesimen} &= \frac{60 \times 23 \text{ v} \times 165 \text{ A}}{12 \text{ cm/menit}} \quad (1) \\ &= 18975 \text{ Joule/cm} \end{aligned}$$

#### 3.2. Hasil Uji Tarik

Proses uji tarik dilakukan menggunakan standar ASTM E8, pada tanggal 13 Oktober di Laboratorium material Teknik Perkapalan. Nilai yang dihasilkan dari uji tarik yaitu nilai tegangan tarik, regangan dan modulus elastisitas yang mana nilai tersebut digunakan untuk mendapatkan kekuatan dari alumunium 6061 setelah proses pengelasan menggunakan las GMAW (*Gas Metal Arc Welding*).

##### 3.2.1 Tegangan Tarik

Tabel 2. Nilai Uji Tegangan Tarik

Variasi	Lebar (mm)	P Max (KN)	$\sigma$ Max (Mpa)	Rata-rata $\sigma$ Max
RW	14.79	41.28	<b>279.11</b>	279.88
	15.14	42.39	279.99	
	15.17	42.56	280.55	
TN	13.4	22.88	170.75	165.29
	12.5	21.88	175.04	
	13	19.51	<b>150.08</b>	
N30	13.4	24.45	182.46	159.33
	13.4	17.16	<b>128.06</b>	
	13.5	22.61	167.48	
N60	13.3	21.4	160.90	158.46
	13.6	22.07	162.28	
	13.6	20.7	<b>152.21</b>	
N90	13.4	15.48	115.52	125.07
	13.7	20.12	146.86	
	13.5	15.23	112.81	

Keterangan :

- RW = *Raw Material*
- TN = Tanpa perlakuan *Normalizing*
- N30 = *Normalizing* waktu penahanan 30 Menit
- N60 = *Normalizing* waktu penahanan 60 Menit
- N90 = *Normalizing* waktu penahanan 90 Menit

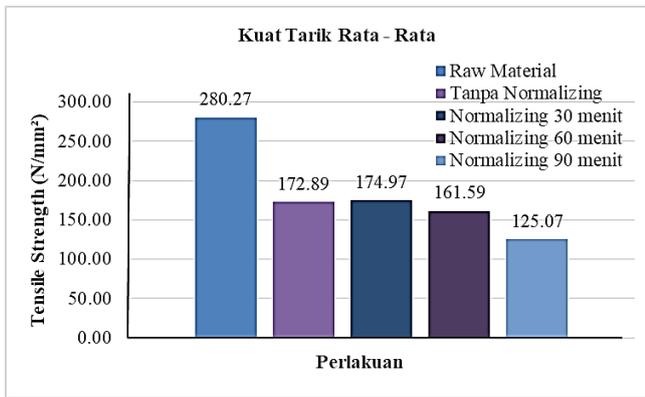
Pada tabel 2 merupakan hasil dari tegangan tarik yang telah dilakukan, dengan nilai tegangan tarik tertinggi dihasilkan oleh spesimen tanpa *normalizing* sebesar 165,29 Mpa.

Selanjutnya dilakukan uji statistik dengan standar deviasi sebagai acuan untuk mendapatkan data yang lebih akurat dan mengetahui data yang keluar dari *margin error*. Hasil dari uji statistik terdapat pada tabel 3.

Tabel 3. Data Statistik Tegangan Tarik

Variasi	$\sigma$ Max (Mpa)	Rata-rata $\sigma$ Max (Mpa)	Standar Deviasi	Range Deviasi	Rata-rata Deviasi
RW	<b>279.11</b>	279.88	0.73	280.6 – 279.11	280.27
	279.99				
	280.55				
TN	170.75	165.29	13.35	178.6 – 151.94	172.89
	175.04				
	<b>150.08</b>				
N30	182.46	159.33	28.10	187.4 – 131.23	174.97
	<b>128.06</b>				
	167.48				
N60	160.90	158.46	5.46	163.9 – 153.00	161.59
	162.28				
	<b>152.21</b>				
N90	115.52	125.07	18.92	143.9 – 106.14	125.07
	146.86				
	112.81				

Pada tabel 3 dari hasil uji statistik dengan standar deviasi yang telah dilakukan, rata – rata tegangan tarik tertinggi yaitu pada perlakuan *normalizing* 30 menit sebesar 174,97 Mpa Pada spesimen ke-2 tanpa perlakuan *normalizing*, spesimen ke-1 *normalizing* 30 menit, spesimen ke-2 *normalizing* 60 menit mengalami penyimpangan nilai dari standar deviasi dimasing – masing variasi.



Gambar 6. Grafik Rata - Rata Tegangan Tarik

Berdasarkan gambar 6, dapat diketahui bahwa material aluminium 6061 tanpa *normalizing* memiliki kekuatan tarik maksimum sebesar 172,89 MPa. Sedangkan material aluminium 6061 dengan *normalizing* 30 menit memiliki kekuatan tarik maksimum sebesar 174,97 MPa. Material aluminium 6061 dengan *normalizing* 60 menit memiliki kekuatan tarik maksimum sebesar 161,59 MPa. Material aluminium 6061 dengan *normalizing* 90 menit memiliki kekuatan tarik maksimum sebesar 125,07 MPa.

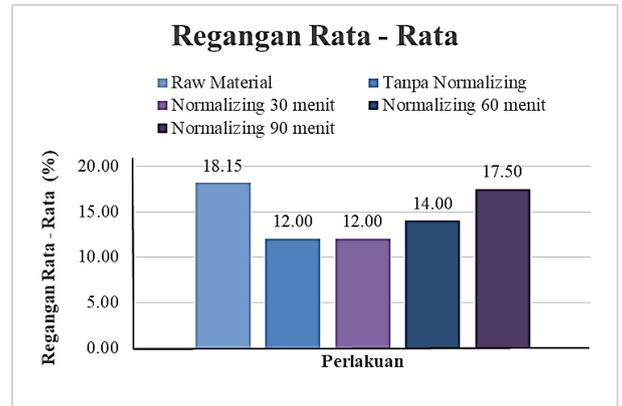
Berdasarkan pada penelitian tugas akhir ini, hasil dari pengujian yang telah dilakukan sambungan las aluminium 6061 pengelasan GMAW perlakuan *normalizing* dengan waktu penahanan (*holding time*) 30 menit kualitas sambungan las untuk uji tarik yang dihasilkan lebih baik dibandingkan dengan variasi spesimen *normalizing* 60 menit dan 90 menit.

### 3.2.2 Regangan

Tabel 4. Data Hasil Pengujian Regangan Tarik

Variasi	Regang e (%)	Rata-rata Regang (%)	Standar Deviasi	Range Deviasi	Rata-rata Deviasi (%)
RW	15.98	20.68	4.89	25.57	18.15
	20.32			15.79	
	<b>25.73</b>			12.24	
TN	<b>11</b>	11.67	0.58	—	12.00
	12			11.09	
	13			13.00	
N30	11	12.00	1.00	—	12.00
	12			11.00	
	13			15.00	
N60	14	14.00	1.00	—	14.00
	15			13.00	
	<b>12</b>			18.88	
N90	18	15.67	3.21	—	17.50
	17			12.45	

Data pada tabel 4, merupakan nilai regangan yang didapat dari hasil pengujian tarik. Nilai regangan tarik pada perlakuan *normalizing* 30 menit sebesar 12%, perlakuan *normalizing* 60 menit sebesar 14% dan perlakuan *normalizing* 90 menit sebesar 17,5%. Sedangkan spesimen tanpa perlakuan *normalizing* sebesar 12%.



Gambar 7. Grafik Regangan Rata – rata Maksimum

Grafik pada gambar 7 memiliki nilai tarik rata - rata regangan maksimum yang semakin lama waktu penahanan *normalizing* tersebut dilakukan maka nilai regangan rata – rata maksimumnya juga akan semakin naik.

### 3.2.3 Modulus Elastisitas

Tabel 5. Nilai Modulus Elastisitas

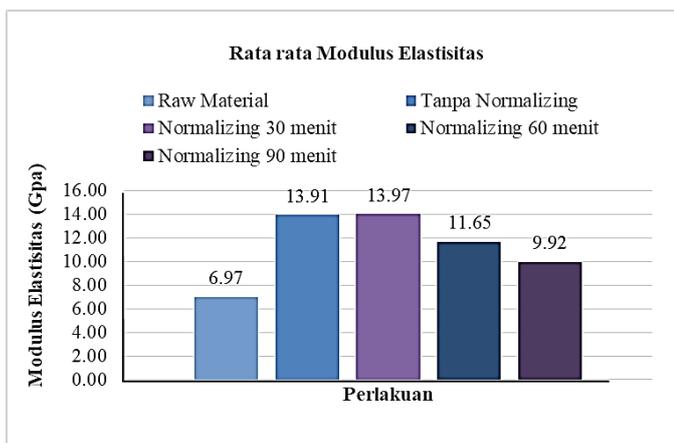
Variasi	$\sigma_y$ (Mpa)	Regangan e (%)	E (Gpa)	E Rata-rata (Gpa)
RW	160.90	15.98	<b>10.07</b>	8.00
	160.91	20.32	7.92	
	154.79	25.73	6.01	
	170.40	12.00	14.20	
TN	174.69	11.00	<b>15.88</b>	14.57
	149.78	11.00	13.62	
	182.10	13.00	14.01	
	127.80	11.00	<b>11.62</b>	
N30	167.15	12.00	13.93	13.18
	160.58	10.00	<b>16.06</b>	
	161.95	13.00	12.46	
N60	151.90	14.00	10.85	13.12
	115.29	12.00	9.61	
	146.57	18.00	<b>8.14</b>	
N90	112.59	11.00	10.24	9.33

Data pada tabel 5, nilai rata – rata modulus elastisitas setelah diberi perlakuan *normalizing* mengalami penurunan dibandingkan spesimen tanpa *normalizing*.

Selanjutnya dilakukan uji statistik dengan standar deviasi sebagai acuan untuk mendapatkan data yang lebih akurat dan mengetahui data yang keluar dari *margin error*. Hasil dari uji statistic terdapat pada tabel 6.

Tabel 6. Modulus Elastisitas setelah Uji Statistik

Variasi	E (Gpa)	E Rata-Rata (Gpa)	Standar Deviasi	Range Deviasi	Rata-rata Deviasi (Mpa)
RW	<b>10.07</b>	8.00	2.03	10.03-5.97	6.97
	7.92				
	6.01				
TN	<b>15.88</b>	14.57	1.18	15.74-13.39	13.91
	14.20				
	13.62				
N30	<b>11.62</b>	13.18	1.36	14.54-11.83	13.97
	14.01				
	13.93				
N60	<b>16.06</b>	13.12	2.67	15.79-10.46	11.65
	12.46				
	10.85				
N90	<b>8.14</b>	9.33	1.07	10.40-8.25	9.92
	9.61				
	10.24				



Gambar 8. Garafik Nilai Modulus Elastisitas

Pada gambar 8 disimpulkan bahwa alumunium menggunakan jenis las GMAW semakin lama waktu *normalizing* yang dilakukan maka nilai rata – rata modulus elastisitasnya semakin turun. Nilai tertinggi dihasilkan oleh Spesimen *normalizing* 30 menit sebesar 13.97 Gpa. terendah yaitu perlakuan *normalizing* 90 menit sebesar 9,92 Gpa.

### 3.3. Hasil Uji Tekuk

Proses uji tekuk dilakukan menggunakan standar ASTM E19014, pada tanggal 13 Oktober di Laboratorium Las dan Material Teknik

Perkapalan Universitas Diponegoro. Hasil yang diperoleh dari pengujian tekuk pada penelitian tugas akhir ini terdapat pada tabel 7.

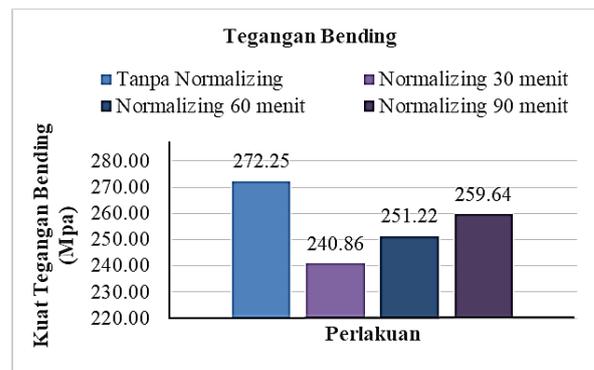
Tabel 7. Tabel Hasil Pengujian Tekuk

Variasi	Lebar (mm)	P Max (KN)	Tegang Tekan (Mpa)	Rata-rata (Mpa)
TN	38	14.68	<b>289.74</b>	278.08
	38	13.83	272.96	
	39	14.12	271.54	
N30	39	12.54	241.15	245.06
	39.5	12.67	240.57	
	39	13.18	<b>253.46</b>	
N60	39.5	13.25	251.58	251.90
	39	13.17	<b>253.27</b>	
	38	12.71	250.86	
N90	38	13.22	260.92	262.01
	37	13.16	<b>266.76</b>	
	38	13.09	258.36	

Data yang dihasilkan dari uji statistik terdapat pada tabel 8. Acuan menggunakan standar deviasi.

Tabel 8. Data Statistik Uji Tekuk

Variasi	Tegang Tekan (Mpa)	Rata-rata (Mpa)	Standar Deviasi	Range Deviasi	Rata-rata Deviasi
TN	<b>289.74</b>	278.08	10.12	288.2 – 267.96	272.25
	272.96				
	271.54				
N30	241.15	245.06	7.28	252.3 – 237.78	240.86
	240.57				
	<b>253.46</b>				
N60	251.58	251.90	1.24	253.1 – 250.66	251.22
	<b>253.27</b>				
	250.86				
N90	260.92	262.01	4.31	266.3 – 257.71	259.64
	<b>266.76</b>				
	258.36				



Gambar 9. Grafik Nilai Rata - Rata Uji Tekuk

Hasil yang didapatkan untuk pengujian tekuk ditunjukkan pada Gambar 9. Spesimen dengan

perlakuan *normalizing* 30 menit menghasilkan tegangan tekuk sebesar 240,86 Mpa. Pada *normalizing* 60 menit tegangan tekuk yang dihasilkan sebesar 251,22 Mpa dan tegangan tekuk yang dihasilkan dari perlakuan *normalizing* selama 90 menit sebesar 259,64 Mpa. Dari hasil penelitian tugas akhir pada pengujian tekuk ini dapat disimpulkan bahwa setiap penambahan waktu penahan *normalizing*, nilai tegangan tekuk yang dihasilkan semakin naik.

### 3.4. Hasil Uji Impak

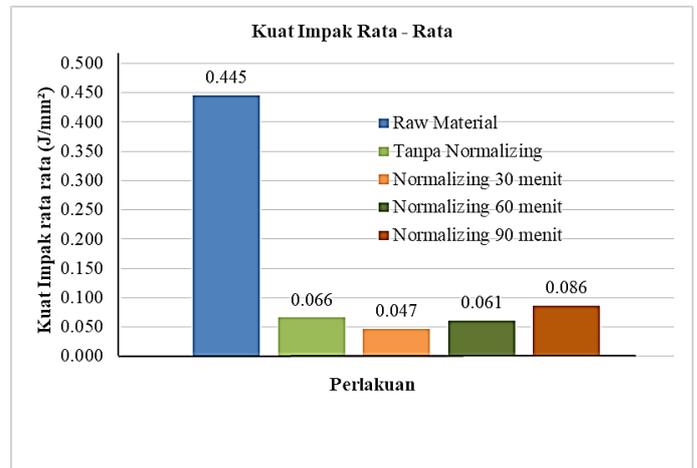
Proses uji impak dilakukan menggunakan standar ASTM E23, pada tanggal 13 Oktober di Laboratorium material Teknik Perkapalan. Setelah uji impak dilakukan data yang didapat dari pengujian tersebut terdapat pada tabel 9.

Tabel 9. Tabel Hasil Uji Impak

Variasi	Lebar (mm)	Tinggi (mm)	Energi (J)	Harga Impak (J/mm <sup>2</sup> )	Rata-rata (J/mm <sup>2</sup> )
RW	10.71	8	39.3	0.459	0.445
	10.77	8	37.2	0.432	
	9.45	8	5	0.066	
TN	10.5	8	5.5	0.065	0.073
	10.55	8	7.5	<b>0.089</b>	
	10.5	8	4	0.048	
N30	10.1	8	4	0.050	0.047
	10.25	8	3.5	0.043	
	10.1	8	5	0.062	
N60	10.25	8	5	0.061	0.061
	10.3	8	5	0.061	
	10.5	8	7.5	0.09	
N90	10.25	8	8.5	<b>0.104</b>	0.092
	10.5	8	7	0.083	

Tabel 10. Data Statistik Uji Impak

Variasi	Harga Impak (J/mm <sup>2</sup> )	Rata-rata (J/mm <sup>2</sup> )	Standar Deviasi	Range Deviasi	Rata-rata Deviasi
RW	0.459	0.445	0.019	0.464 –	0.445
	0.432			0.0426	
	0.066				
TN	0.065	0.073	0.013	0.087 –	0.066
	<b>0.089</b>			0.060	
	0.048				
N30	0.050	0.047	0.004	0.050 –	0.047
	0.043			0.043	
	0.062				
N60	0.061	0.061	0.001	0.062 –	0.061
	0.061			0.061	
	0.09				
N90	<b>0.104</b>	0.092	0.010	0.10 –	0.086
	0.083			0.08	



Gambar 10. Grafik Nilai Rata-Rata Uji Impak

Pada pengujian impak dipenelitian tugas akhir ini spesimen yang sebelumnya telah dilakukan *heat treatment normalizing* menghasilkan data sebagaimana yang terlihat pada gambar 10. Semakin lama waktu *normalizing* yang diberikan maka kekuatan impak yang dihasilkan semakin naik. Spesimen *normalizing* 30 menit memiliki nilai rata-rata sebesar 0,047 J/mm<sup>2</sup>. Selanjutnya Spesimen *normalizing* 60 menit memiliki nilai rata-rata yaitu sebesar 0,061 J/mm<sup>2</sup>. Spesimen dengan *normalizing* 90 menit memiliki nilai rata-rata 0,086 J/mm<sup>2</sup>. Dan harga impak rata-rata spesimen tanpa perlakuan *normalizing* sebesar 0,066 J/mm<sup>2</sup>.

Menurut standar ASTM E23, material tanpa pengelasan harus mempunyai standar minimal nilai impak sebesar 0.40 J/mm<sup>2</sup>. Sedangkan untuk material dengan pengelasan harus memiliki minimum nilai impak sebesar 0.10 J/mm<sup>2</sup> [10].

Spesimen yang digunakan berjumlah 15 spesimen dengan variasi perlakuan berbeda – beda, hasil yang memenuhi sesuai standar ASTM yaitu pada spesimen dengan perlakuan *normalizing* 90 menit berjumlah 1 spesimen. Hal ini terjadi disebabkan oleh faktor pengaruh waktu tahan (*holding time*) *normalizing* yang membuat spesimen tersebut memiliki nilai harga yang lebih tinggi dibanding dengan variasi *normalizing* 30 menit dan 60 menit. Karena tujuan dari *normalizing* sendiri untuk menaikkan harga impak suatu material.

### 3.5. Perbandingan Hasil Pengujian dengan Standar BKI

Menurut BKI pada "Rules For The Classification and Construction, Part 1 Vol VI: Rules For Welding, Sec. 5: Welding, Consumables and Auxillary Materials", aluminium 6061 harus mempunyai standar minimal nilai kuat tarik

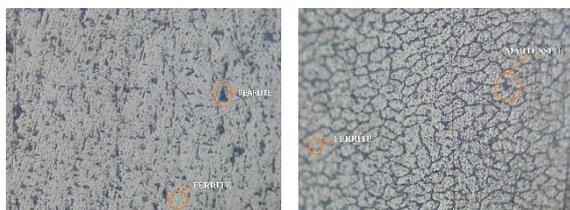
(*Tensile Strength*) 170 Mpa untuk pengelasan aluminium [11].

Nilai tertinggi kekuatan tarik rata – rata maksimum dihasilkan dari variasi *normalizing* 30 menit sebesar 159,33 Mpa. Sedangkan untuk variasi *holding time* lain nilai tegangan tarik mengalami penurunan. Hal ini terjadi kemungkinan disebabkan oleh faktor dari kualitas pengelasan atau faktor lain yang dapat mempengaruhi hasil nilai kekuatan tarik.

### 3.6. Hasil Uji Mikrografi

Penelitian Tugas akhir dari pengujian *mikrografi* pada aluminium 6061 pengelasan GMAW (*Gas Metal Arc Welding*) setelah mendapatkan perlakuan *normalizing* didapatkan struktur mikro sebagai berikut:

#### 1. Tanpa *normalizing*

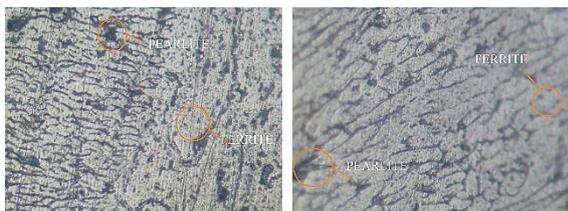


(1) HAZ

(2) LAS

Gambar 11. Struktur Mikro Tanpa *Normalizing*

#### 2. *Normalizing holding time* 30 menit.

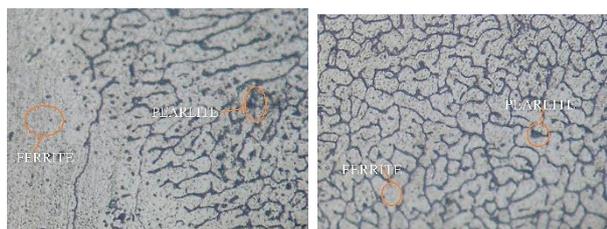


(1) HAZ

(2) LAS

Gambar 12. Struktur Mikro *Normalizing holding time* 30 menit

#### 3. *Normalizing holding time* 60 menit.

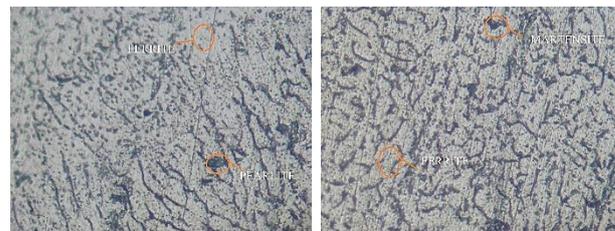


(1) HAZ

(2) LAS

Gambar13. Struktur Mikro *Normalizing holding time* 60 menit

#### 4. *Normalizing holding time* 90 menit.



(1) HAZ

(2) LAS

Gambar14. Struktur Mikro *Normalizing holding time* 90 menit

Berdasarkan struktur mikro gambar 11, 12, 13 dan 14 material aluminium 6061 las GMAW dengan menggunakan *normalizing* variasi *holding time* hasil dari uji *mikrografi* yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa perlakuan *normalizing* akan mengubah struktur mikro pada material tersebut. Spesimen dengan *normalizing* 90 menit memiliki struktur besar butir yang lebih besar dibandingkan *normalizing* 30 dan 60 menit. Besar butir tersebut akan mengakibatkan sifat kekerasan spesimen tersebut turun. Namun, memiliki nilai regangan besar dan harga nilai dampak menjadi naik dibandingkan dengan spesimen *normalizing* 30 menit dan 60 menit.

### 4. Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian tugas akhir ini setelah pengujian tarik, tekuk, dampak dan *mikrografi* pada sambungan las GMAW aluminium 6061 dengan perlakuan *normalizing* suhu 415°C waktu penahanan 30 menit, 60 menit dan 90 menit, adalah sebagai berikut:

Kekuatan rata-rata tegangan tarik maksimum dengan variasi *normalizing* 30 menit 60 menit dan 90 menit semakin menurun. Dengan nilai tegangan berturut – turut sebesar 174,97 Mpa, 161,59 Mpa dan 125,07 Mpa. Kekuatan rata-rata tegangan tarik maksimum tanpa *normalizing* sebesar 172,89 Mpa.

Kekuatan rata-rata nilai tekuk maksimum variasi *normalizing* 30 menit 60 menit dan 90 menit semakin meningkat. Dengan nilai berturut – turut sebesar 240,86 Mpa, 251,22 Mpa dan 259,64 Mpa. Dan spesimen tanpa *normalizing* sebesar 272,25 Mpa.

Kekuatan rata-rata nilai dampak maksimum variasi *normalizing* 30 menit 60 menit dan 90 menit semakin meningkat. Dengan nilai dampak berturut – turut sebesar 0.047 J/mm<sup>2</sup>, 0.061 J/mm<sup>2</sup> dan 0.086 J/mm<sup>2</sup>. Dan nilai spesimen tanpa *normalizing* sebesar 0.066 J/mm<sup>2</sup>.

Dari uji *mikrografi* yang telah dilakukan spesimen *normalizing* 90 menit memiliki besar butir material yang lebih besar dibandingkan

dengan spesimen *normalizing* 30 menit dan 60 menit.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan artikel penelitian ini tidak akan terselesaikan tanpa adanya bantuan dari berbagai pihak. Maka dari itu penulis banyak terimakasih kepada semua pihak laboratorium dan seluruh pihak lainnya yang telah membantu.

## REFERENSI

- [1] B. W. Sidharta, "Pengaruh Konsentrasi Elektrolit Dan Waktu Anodisasi Terhadap Ketahanan Aus, KEkerasan Serta KEtebalan Lapisan Oksida Paduan Aluminium Pada Material Piston," *J. Teknol. Technoscintia*, vol. 7, no. 1, pp. 10–21, 2014.
- [2] H. Kurniawan, A. W. B. Santosa, and U. Budiarto, "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," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 8, no. 4, pp. 579–587, 2020.
- [3] R. P. Putra, S. Jokosisworo and Kiryanto, "Pengaruh Arus Listrik Dan Temperatur Terhadap Kekuatan Tarik Dan Impact Alumunium 5083 Pengelasan GMAW (Gas Metal Arc Welding)," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 4, no. 1, pp. 152–161, 2016.
- [4] B. Malik Ibrahim and Z. Fadlurrohman, "Analisa Kekerasan Struktur Mikro dan Uji Impact Pada Komposit Alumunium 6061 Paduan Pasir Besi Lokal dengan Perlakuan Panas t6 Variasi Komposisi dan Holding Time," Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, 2021.
- [5] S. Perdana, U. Budiarto, A. Wibawa, and B. Santosa, "Pengaruh Variasi Waktu Penahanan (Holding Time) pada Perlakuan Panas Normalizing Setelah Pengelasan Submerged Arc Welding (SAW) pada Baja SS400 terhadap Kekuatan Tarik, Tekuk dan Mikrografi," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 8, no. 4, pp. 579-587, 2020.
- [6] 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, pp. 142–149, 2018.
- [7] M. S. Pranata, A. W. B. Santosa, and M. Iqbal, "Perbandingan Kekuatan Tarik dan Kekuatan Kekerasan Las GMAW dan GTAW Terhadap Material Alumunium 6061," *Tek. Perkapalan*, vol. 8, no. 4, pp. 579-587, 2020.
- [8] R. Wurdhani, U. Budiarto, and W. Amiruddin, "Pengaruh Perlakuan Panas ( Heat Treatment ) Normalizing Terhadap Kekuatan Impact Aluminium 6061 Pengelasan MIG dengan Variasi Posisi dan Bentuk Kampuh," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 9, no. 1, pp. 70–78, 2021.
- [9] ASTM E23, 2018. *Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials*.
- [10] Biro Klasifikasi Indonesia, "Rules for the Classification and Construction: Volume VI Rules for Welding" Jakarta . 2019.