



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Analisis Perbandingan Kekuatan Impak, Tarik, Tekuk dan Mikrografi Pada Aluminium 6061 Pasca Pengelasan Tungsten Inert Gas (TIG) dengan Media Pendingin Air Laut, Air Tawar dan Udara

Ambar Isworo¹⁾, Untung Budiarto²⁾, Ari Wibawa Budi³⁾

¹⁾Laboratorium Las dan Material

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275
e-mail : isworoa18@gmail.com , budiartountung@gmail.com , arikapal75@gmail.com

Abstrak

Alumunium banyak digunakan dibidang industri karena memiliki keunggulan seperti bobot yang ringan, kekuatan dan kekerasan yang tinggi serta tahan korosi. Proses perlakuan pendinginan merupakan cara paling efektif untuk membuat sifat mekanik dari kekerasan alumunium. Tujuan penelitian ini adalah untuk membandingkan kekuatan impak, tarik, tekuk dan mikrografi dengan variasi pendingin air tawar, air laut dan pendinginan alami alumunium 6061 pada arah pengelasan transversal dengan sudut 60° dengan las tungsten inert gas) dan jenis sambungan single-v butt joint. Hasil pengujian yang dilakukan menunjukkan bahwa faktor pendinginan setelah proses pengelasan berpengaruh dalam menentukan kualitas pengelasan. Hasil paling baik pada pengujian impak dengan perlakuan pendingin air laut memiliki nilai $0,261 \text{ J/mm}^2$. Lalu kekuatan tarik dan nilai regangan tertinggi paling baik pada perlakuan pendingin air tawar, yaitu sebesar $160,53 \text{ N/mm}^2$ dan regangan sebesar $25,26 \%$. Kemudian untuk kekuatan tekuk hasil paling optimal dengan rata-rata tegangan bending yaitu $46,76 \text{ N/mm}^2$ pada perlakuan dengan media pendingin air laut. Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa proses pendinginan alumunium setelah melalui proses pengelasan sangat berpengaruh terhadap keuletan dari struktur material yang telah mengalami proses pendinginan dengan media pendingin akan lebih mempercepat laju pendinginan maka akan terbentuk struktur martensit yang kasar dan memiliki sifat yang keras dan getas.

Kata Kunci : Aluminium 6061, Pengelasan TIG, Impak, Tarik, Tekuk, Mikrografi.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi di dunia industri yang sangat pesat tidak terlepas dari penggunaan material khususnya logam, terutama kebutuhan untuk menghasilkan konstruksi pada kapal yang kuat, menjadikan teknik pengelasan sebagai pilihan utama dalam dunia industri perkapalan. Sehingga diperlukan hasil las yang baik agar mendapatkan konstruksi yang kuat, aman, dan tahan lama. Kualitas hasil pengelasan tidak hanya dapat dilihat secara visual, namun harus diketahui secara struktur. Hasil pengelasan yang baik secara visual, belum tentu memiliki struktur yang baik, untuk mengetahui apakah hasil pengelasan tersebut telah memenuhi kriteria harus ada pengukuran atau pengujian hasil las.

Alumunium dan paduannya merupakan logam yang banyak digunakan dibidang teknik karena mempunyai berbagai keunggulan. Pada paduan alumunium terdapat paduan yang dapat diperlaku-panaskan dan juga paduan yang tidak dapat diperlakupanaskan. Paduan alumunium magnesium silikon (Al-Mg-Si) termasuk dalam kelompok yang dapat diperlaku panaskan (*heat treable*) dan termasuk dalam seri Al-6061 yang memiliki kekuatan dan ketahanan korosi yang cukup . Paduan Al-6061 banyak digunakan dalam industri seperti pada industri kendaraan, kapal, maupun rangka sepeda. [1]

Las TIG (Las Tungsten Inert Gas) atau biasa disebut dengan GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) merupakan salah satu pengelasan busur listrik berpelindung gas mulia dimana elektroda

tidak diumpamakan. Las TIG dapat menjangkau pada proses pengelasan yang luas dan mempunyai kemampuan yang tinggi untuk menyatukan logam, serta dapat mengelas segala posisi pengelasan dengan kepadatan yang tinggi. Daya busurnya tidak tergantung bahan tambahan yang diperlukan, sehingga las TIG dimungkinkan dipakai untuk mengelas berbagai jenis logam. [2]

Perlakuan pada panas hasil pengelasan adalah cara yang efektif untuk membuat sifat mekanik dari kekerasan aluminium. Media pendingin merupakan suatu substansi yang berfungsi menentukan kecepatan pendinginan yang dilakukan terhadap material yang telah diuji dalam perlakuan panas atau setelah pengelasan.

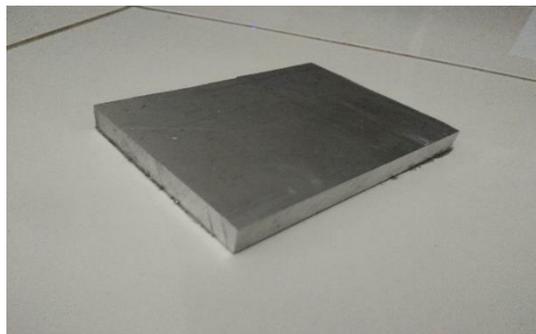
Penelitian yang dilakukan sebelumnya tentang pengaruh suhu pendinginan dengan media air laut dan oli terhadap aluminium 5083 meningkatkan tegangan impact dengan pendingin oli sebesar $0,36 \text{ J/mm}^2$ sedangkan tanpa media pendingin / suhu ruangan mendapatkan harga impact $0,28 \text{ J/mm}^2$. [3]

Berdasarkan latar belakang yang dipaparkan di atas, penelitian ini bertujuan untuk meneliti perhitungan dan perbandingan kekuatan impact, tarik, tekuk dan mikrografi dari hasil pengelasan TIG (Tungsten Inert Gas) dengan material aluminium 6061 posisi las 1G menggunakan variasi pendinginan media air laut dan air tawar pada suhu ruangan.

2. METODE

2.1 Objek Penelitian

Aluminium merupakan logam ringan yang bersifat tahan terhadap korosi dan hantaran listrik yang baik. Paduan aluminium 6xxx banyak digunakan sebagai produk ekstrusi, konstruksi dan aplikasi dibidang otomotif Untuk mendapatkan peningkatan kekuatan mekanik, biasanya logam aluminium dipadukan dengan unsur Cu, Si, Mg, Zn, Mn, Ni, dan unsur lainnya. Aluminium 6061 mempunyai keunggulan seperti kekuatan tarik relatif tinggi, sifat mampu bentuk (formability) baik, tahan korosi dan merupakan logam ringan. Kelemahan Aluminium 6061 yaitu mempunyai sifat mampu las (weldability) yang relatif rendah dan sambungan las rentan terhadap kegagalan (failure). [4]



Gambar 1. Plat Aluminium 6061

2.2 Perlakuan pada Objek Penelitian

Proses pengelasan adalah salah satu teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan menggunakan energi panas. [5]

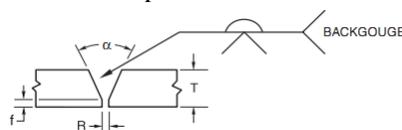
Pengelasan yang digunakan pada penelitian ini adalah GTAW (*Gas Tungsten Arch Welding*) yang biasa disebut TIG (*Tungsten Inert Gas*) adalah metode pengelasan dimana busur listrik terjadi diantara elektroda yang tidak meleleh dengan benda kerja. Sekeliling elektrodanya disalurkan gas inert yang berfungsi sebagai pelindung terhadap kontaminasi udara dimana gas tersebut tidak bereaksi dengan zat apapun, sehingga tiap pencemaran terhadap pengelasan dapat dihindarkan. [6]

Dalam penelitian logam pengisi yang digunakan yaitu elektroda ER 5356 dengan spesifikasi standart AWS. Elektroda untuk proses las TIG merupakan elektroda non filler metal (bukan logam pengisi) yang terbuat dari bahan tungsten atau tungsten alloy. [7]

Tabel 1. Klasifikasi Elektroda Tungsten

Klasifikasi AWS	Elemen Paduan	Klasifikasi Warna
EWP	Tungsten Murni	Hijau
EWTH-1	0,8 -1,2 % Thorium	Kuning
EWTH-2	1,7-2,2 % Thorium	Merah
EWTH-3	0,35-0,55 % Thorium	Biru
EWZR-1	0,15-0,4 % Zirconium	Coklat
EWCe-2	1,8-2,2 % Cerium	Orange
EWL a-1	$\pm 1,0$ % Lanthanum	Hitam
EWG	Tidak di spesifikasikan	Abu-abu

Tipe sambungan las yang dipakai pada penelitian ini *Butt Joint*. Penelitian ini menggunakan tipe sambungan *single V-but joint* dengan sudut kampuh 60°



Gambar 2. Sambungan las Single V-Butt Joint

Dimana α adalah derajat kemiringan kampuh (60°), R adalah panjang akar sambungan las dengan jarak 4 mm dan T adalah lebar spesimen dengan panjang 10 mm

Media pendingin yang digunakan adalah air laut dan air tawar, karena masing-masing media pendingin memiliki tingkat kerapatan yang tinggi sehingga laju pendinginan akan berlangsung secara cepat karena proses transfer kalor lebih mudah terjadi. Apabila jarak molekul lebih kecil dengan percepatan proses pendinginan ini, maka akan terbentuk struktur martensit yang kasar, dimana memiliki sifat yang keras dan getas. [8]

2.3 Lokasi Penelitian

Lokasi pengelasan TIG (Tungsten Inert Gas) Aluminium 6061 dilakukan di INLASTEK Welding Institute Surakarta. Sedangkan pengujian bahan dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik Departemen Mesin Universitas Gajah Mada Yogyakarta.

2.4 Metode dan Prosedur Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian adalah metode eksperimen. Dimana pelaksanaannya dengan mempersiapkan benda uji seperti pembuatan kampuh las, pengelasan material, pendinginan material setelah pengelasan sampai proses pengujian material dilakukan. Penelitian dilakukan dengan prosedur sesuai standar ASTM E23 untuk pengujian impact, ASTM E8 untuk pengujian tarik, dan ASTM E190-14 untuk pengujian tekuk.

2.4.1 Pengujian Impak

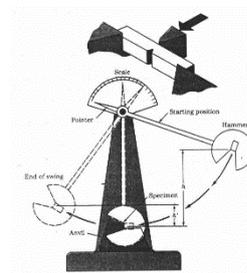
Pengujian Impak adalah suatu upaya untuk mensimulasikan kondisi operasi material yang sering di temui dalam perlengkapan transportasi atau konstruksi dimana beban datang secara tiba-tiba. Prinsip pengujian impact adalah penyerapan energi potensial dari pendulum beban yang berayun dari suatu ketinggian tertentu dan menumbuk benda uji sehingga benda uji mengalami deformasi.

Pada pengujian impact ini banyaknya energi yang di serap oleh bahan untuk terjadinya perpatahan merupakan ukuran ketahanan impact atau ketangguhan bahan tersebut. Material dikatakan tangguh apabila memiliki kemampuan menyerap beban kejut yang besar tanpa terjadinya retak atau deformasi dengan mudah. Pada pengujian impact, energi yang di serap oleh benda uji biasanya dinyatakan dalam satuan Joule dan dibaca langsung pada skala penunjuk yang telah dikalibrasi yang terdapat pada mesin penguji.

Pengujian bahan yang di uji dengan metode charpy dirumuskan :

$$HI = E / A \quad (1)$$

dimana E adalah energi yang diserap dalam satuan Joule dan A adalah luas penampang di bawah tarik dalam satuan mm^2 .



Gambar 3. Ilustrasi skematis pengujian impact dengan benda uji charpy. [9]

2.4.2 Pengujian Tarik

Pengujian tarik merupakan pengujian merusak yang dilakukan dengan memberikan gaya tarik pada material yang berlawanan pada benda 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. [9] Berikut adalah sifat-sifat yang dihasilkan oleh pengujian tarik:

1. Kekuatan tarik maksimum (σ)
Merupakan tegangan maksimum yang dapat ditanggung oleh material sebelum terjadinya perpatahan (*fracture*). Dirumuskan:

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \quad (2)$$

dimana σ adalah tegangan dalam Mpa, P adalah beban dalam Newton dan A_0 adalah luas penampang (mm^2).

2. Regangan maksimum (e)
Diukur sebagai penambahan panjang ukur setelah perpatahan terhadap panjang awalnya. Dirumuskan:

$$e = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% \quad (3)$$

$$e = \frac{L_i - L_0}{L_0} \times 100\%$$

dimana L_i adalah panjang sesudah patah (mm), L_0 adalah panjang mula-mula (mm) dan e adalah regangan (%).

3. Modulus elastisitas (E)

Merupakan ukuran kekakuan suatu material pada grafik tegangan-regangan modulus kekakuan tersebut dapat dihitung dari slope kemiringan garis elastic yang linier. Dirumuskan :

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

dimana E adalah modulus elastisitas dalam Gpa, σ adalah tegangan maksimum dalam N/mm² dan e adalah regangan (%).

Dengan dilakukan pengujian tarik dapat menunjukkan beberapa fenomena perpatahan yaitu ulet dan getas, perpatahan ini dapat dilihat dengan mata telanjang. Perpatahan ulet umumnya lebih disukai karena bahan menjadi ulet dan tangguh serta memberikan peringatan lebih dahulu sebelum terjadinya kerusakan. Sedangkan perpatahan getas tidak ada atau sedikit sekali terjadinya deformasi plastis pada material. Patahannya merambat sepanjang bidang. [10]

2.4.3 Pengujian Tekuk / Bending

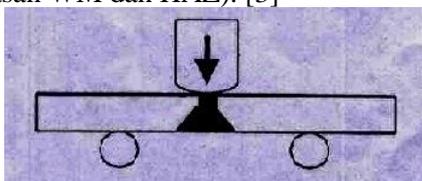
Pengujian tekuk (bending test) merupakan bentuk pengujian untuk menentukan mutu suatu material secara visual. Uji tekuk digunakan untuk mengukur kekuatan material setelah menerima pembebanan dan kekenyalan hasil sambungan las baik di weld metal maupun HAZ. [3]

Dirumuskan :

$$\sigma_b = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (5)$$

dimana σ_b adalah tegangan tekuk dalam Mpa, P adalah beban dalam Newton, L adalah panjang span/support span (mm), b adalah Lebar (mm) dan d adalah tebal (mm).

Penelitian ini menggunakan pengujian *face transversal bending*. Disebut *face bend* karena dilakukan *bending* sehingga permukaan las mengalami tegangan tarik dan dasar las mengalami tegangan tekan. Pengamatan dilakukan pada permukaan las yang mengalami tegangan Tarik guna mengetahui apakah timbul retak atau tidak. Jika timbul retak dimanakah letaknya, apakah di weld metal, HAZ atau di fusion line (garis perbatasan WM dan HAZ). [3]



Gambar 4. Skema Uji *Transversal Bending Face Bend*.

2.4.3 Pengujian Mikrografi

Pengujian Mikrografi adalah suatu proses yang dilakukan untuk memperoleh gambar yang menunjukkan struktur mikro suatu logam atau paduan. Pengujian mikrografi bertujuan untuk melihat perubahan struktur suatu logam atau paduan setelah dilakukan pengelasan dari logam murni. Melalui pengujian ini kita dapat mengetahui struktur suatu logam / paduan dengan memperjelas batas-batas butir logam sehingga dapat dilihat langsung dengan menggunakan mikroskop dan diambil gambarnya. [11]

2.5 Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan antara lain :

1. Mesin Gerinda
2. Mesin Las
3. Mesin Uji Impak
4. Mesin Uji Tarik dan Tekuk
5. Pengujian Mikrografi
 - Mikroskop Logam
 - Kamera
 - Amplas no. 100, no. 200, no. 400, no. 600, no 800, dan no 1000.
 - Etsa digunakan untuk memperjelas penampakan struktur mikro spesimen
 - *Metal polish*
 - Kain flanel

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengujian Impak

Hasil yang didapatkan dari pengujian impak ini adalah nilai rata-rata dari harga impact yang dapat digunakan untuk mengetahui banyaknya energi yang diserap oleh bahan untuk terjadinya perpatahan yang merupakan ukuran ketahanan impak atau ketangguhan aluminium tersebut.

Tabel 2. Data Hasil Pengujian Impak

No.	Spesimen	Lebar (mm)	Tinggi (mm)	Energi (J)
1	Laut-1	10,00	7,74	19
2	Laut-2	10,07	8,33	21
3	Laut-3	10,05	8,39	22
4	Laut-4	10,05	7,94	23
5	Udara-1	10,00	8,66	8
6	Udara-2	10,01	8,16	7
7	Udara-3	10,00	8,21	7
8	Udara-4	10,03	7,75	6
9	Tawar-1	10,03	8,63	22
10	Tawar-2	10,01	8,01	18
11	Tawar-3	10,01	8,54	20
12	Tawar-4	10,01	8,65	10

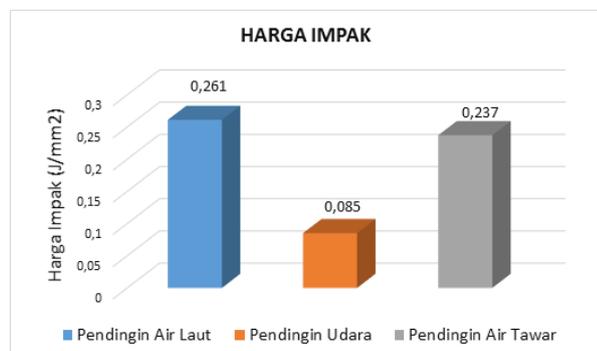
Tabel 2. Data Hasil Pengujian Impak (Lanjutan)

No.	Spesimen	Energi (J)	Harga Impak (J/mm ²)	Rata-rata Harga Impak (J/mm ²)
1	Laut-1	19	0,245	0,261
2	Laut-2	21	0,250	
3	Laut-3	22	0,261	
4	Laut-4	23	0,288	
5	Udara-1	8	0,092	0,085
6	Udara-2	7	0,086	
7	Udara-3	7	0,085	
8	Udara-4	6	0,077	
9	Tawar-1	22	0,254	0,207
10	Tawar-2	18	0,224	
11	Tawar-3	20	0,234	
12	Tawar-4	10	0,115	

Berdasarkan tabel 2 dapat dihitung nilai standar deviasi untuk setiap variasi pendinginan. Pada variasi pendingin air laut memiliki nilai standar deviasi sebesar 0,019 dan karena selisih dari setiap standar deviasi tidak terlalu jauh maka 4 spesimen air laut diikutsertakan dalam tabel. Pada variasi udara memiliki nilai standar sebesar 0,0006, karena selisih tidak terlalu jauh maka 4 spesimen udara diikutsertakan dalam tabel. Pada variasi air tawar memiliki nilai standar deviasi sebesar 0,06 sehingga spesimen 4 pada pendingin air tawar tidak diikutsertakan dalam perhitungan selanjutnya karena melebihi nilai standar deviasi.

Tabel 3. Data Hasil Pengujian Impak dengan Standar Deviasi

No.	Spesimen	Energi (J)	Harga Impak (J/mm ²)	Rata-rata Harga Impak (J/mm ²)
1	Laut-1	19	0,245	0,261
2	Laut-2	21	0,250	
3	Laut-3	22	0,261	
4	Laut-4	23	0,288	
1	Udara-1	8	0,092	0,085
2	Udara-2	7	0,086	
3	Udara-3	7	0,085	
4	Udara-4	6	0,077	
1	Tawar-1	22	0,254	0,237
2	Tawar-2	18	0,224	
3	Tawar-3	20	0,234	



Gambar 5. Diagram Hasil Rata-Rata Harga Impak

Dari teori uji impak, semakin keras benda maka akan mendapatkan nilai impak yang semakin besar pula. Pada hasil pengujian material yang telah di uji, diperoleh hasil bahwa proses pendinginan secara cepat dengan media pendingin berbeda dapat mempengaruhi kekerasan material yang telah di las. Dapat kita lihat bahwa hasil impak terbesar terletak pada perlakuan pendinginan dengan media air laut dengan rata-rata 0.261 J/mm², lalu menurun kekerasan material pengelasannya pada perlakuan pendinginan dengan media pendingin air tawar dengan rata-rata 0.237 J/mm². Sedangkan nilai harga impak terendah yaitu pada material pengelasan yang diberi perlakuan pendinginan alami dengan rata-rata 0.085 J/mm².

3.2 Hasil Pengujian Tarik

Pada hasil pengelasan dengan perlakuan pendinginan alami menghasilkan kekuatan tarik tertinggi dengan perlakuan pendinginan air tawar, yaitu sebesar 160.53 Mpa dan kekuatan tarik terendah pada material dengan perlakuan pendinginan dengan media udara yaitu sebesar 150.01 N/mm². Dari variasi tersebut diketahui bahwa proses pendinginan secara cepat membuat benda semakin kaku/getas yang menyebabkan kekuatan tarik menjadi semakin kecil.

Tabel 4. Data Hasil Pengujian Tarik

No.	Spesimen	Lebar (mm)	Tinggi (mm)	ΔL (mm)
1	Laut-1	10,00	7,74	19
2	Laut-2	10,07	8,33	21
3	Laut-3	10,05	8,39	22
4	Laut-4	10,05	7,94	23
5	Udara-1	10,00	8,66	8
6	Udara-2	10,01	8,16	7
7	Udara-3	10,00	8,21	7
8	Udara-4	10,03	7,75	6
9	Tawar-1	10,03	8,63	22
10	Tawar-2	10,01	8,01	18
11	Tawar-3	10,01	8,54	20
12	Tawar-4	10,01	8,65	10

Tabel 4. Data Hasil Pengujian Tarik (Lanjutan)

No.	Spesimen	Pmax (KN)	Tegangan (Mpa)	Regangan (%)
1	Laut-1	20,40	163,97	22,34
2	Laut-2	19,84	158,92	23,74
3	Laut-3	19,57	154,91	20,86
4	Laut-4	20,10	162,59	21,76
5	Udara-1	18,55	151,09	21,70
6	Udara-2	18,61	152,36	20,60
7	Udara-3	18,71	150,89	17,54
8	Udara-4	17,87	145,67	18,78
9	Tawar-1	19,31	162,44	27,22
10	Tawar-2	19,23	157,46	22,70
11	Tawar-3	19,82	160,74	27,96
12	Tawar-4	20,13	161,47	23,16

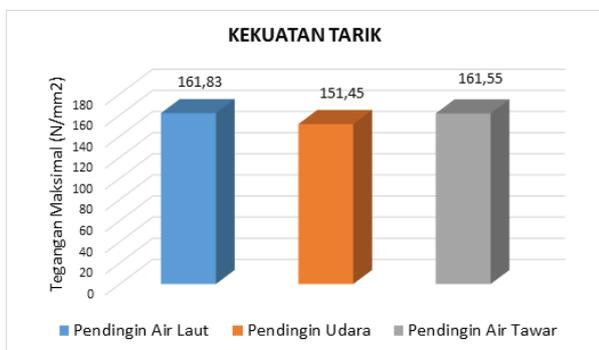
Tabel 4. Data Hasil Pengujian Tarik (Lanjutan)

No.	Tegangan (Mpa)	Regangan Putus (%)	Tegangan Rata-rata (Mpa)	Regangan Rata-rata (%)
1	163,97	22,34	160,10	22,18
2	158,92	23,74		
3	154,91	20,86		
4	162,59	21,76		
5	151,09	21,70	150,00	19,66
6	152,36	20,60		
7	150,89	17,54		
8	145,67	18,78		
9	162,44	27,22	160,53	25,26
10	157,46	22,70		
11	160,74	27,96		
12	161,47	23,16		

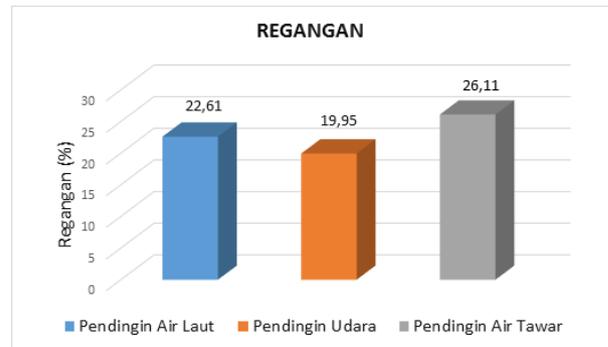
Berdasarkan tabel 4 dapat dihitung nilai standar deviasi untuk setiap variasi pendinginan. Pada variasi pendingin air laut memiliki nilai standar deviasi sebesar 4,06 maka spesimen 3 pada variasi pendingin air laut tidak diikutsertakan dalam perhitungan karena melebihi standar deviasi. Pada variasi udara memiliki nilai standar deviasi sebesar 2,96 maka spesimen 4 pada variasi pendingin udara tidak diikutsertakan dalam perhitungan karena melebihi standar deviasi. Pada variasi air laut memiliki nilai standar deviasi sebesar 0,06 sehingga spesimen 2 pada pendingin air tawar tidak diikutsertakan dalam perhitungan selanjutnya karena melebihi nilai standar deviasi.

Tabel 5. Data Hasil Pengujian Tarik dengan Standar Deviasi

Spesimen	Tegangan (Mpa)	Regangan (%)	Tegangan Rata-rata (Mpa)	Regangan Rata-rata (%)
Laut-1	163,97	22,34	161,83	22,61
Laut-2	158,92	23,74		
Laut-4	162,59	21,76		
Udara-1	151,09	21,70	151,45	19,95
Udara-2	152,36	20,60		
Udara-3	150,89	17,54		
Tawar-1	162,44	27,22	161,55	26,11
Tawar-3	160,74	27,96		
Tawar-4	161,47	23,16		



Gambar 6. Diagram Hasil Tegangan Rata-Rata



Gambar 7. Diagram Hasil Regangan Rata-Rata

Dilihat dari diagram rata-rata nilai regangan, regangan rata-rata pada spesimen dengan perlakuan pendingin air tawar adalah regangan yang tertinggi senilai 26,11 %. Sedangkan regangan rata-rata terendah dihasilkan pada spesimen dengan media pendingin air udara sebesar 19,95 %.

Modulus Elastisitas

Tabel 6. Data Modulus Elastisitas

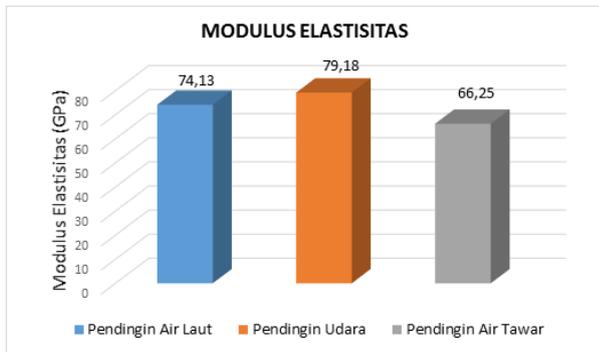
Spesimen	Lebar (mm)	Tinggi (mm)	ΔL (mm)
Laut-1	10,00	7,74	19
Laut-3	10,05	8,39	22
Laut-4	10,05	7,94	23
Udara-2	10,01	8,16	7
Udara-3	10,00	8,21	7
Udara-4	10,03	7,75	6
Tawar-1	10,03	8,63	22
Tawar-2	10,01	8,01	18
Tawar-4	10,01	8,65	10

Tabel 6. Data Modulus Elastisitas (Lanjutan)

Spesimen	Tegangan (Mpa)	Regangan (%)
Laut-1	163,97	22,34
Laut-3	154,91	20,86
Laut-4	162,59	21,76
Udara-2	152,36	20,60
Udara-3	150,89	17,54
Udara-4	145,67	18,78
Tawar-1	162,44	27,22
Tawar-2	157,46	22,70
Tawar-4	161,47	23,16

Tabel 6. Data Modulus Elastisitas (Lanjutan)

Spesimen	E (GPa)	E (GPa) Rata-rata
Laut-1	73,40	74,13
Laut-3	74,26	
Laut-4	74,72	
Udara-2	73,96	79,18
Udara-3	86,03	
Udara-4	77,57	
Tawar-1	59,68	66,25
Tawar-2	69,37	
Tawar-4	69,72	



Gambar 8. Diagram Hasil Rata-Rata Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas merupakan perbandingan antara tegangan dan regangan aksial dalam deformasi yang elastis. Modulus elastisitas merupakan ukuran kekakuan suatu material, jika rata-rata nilai dari modulus elastisitas besar, maka semakin kecil regangan elastis yang terjadi atau semakin kaku. Hal tersebut ditunjukkan pada spesimen dengan perlakuan pendinginan dengan udara yang nilai modulus elastisitasnya paling tinggi yaitu sebesar 79.18 GPa.

3.3 Hasil Pengujian Tekuk/Bending

Tabel 7. Data Hasil Pengujian Tekuk/Bending

No.	Spesimen	Lebar (mm)	Tebal (mm)	ΔL saat patah (mm)
1	Laut-1	38,62	10,07	24,58
2	Laut-2	38,54	10,62	29,28
3	Laut-3	38,02	10,04	18,24
4	Laut-4	39,26	10,08	24,36
5	Udara-1	38,73	10,05	16,72
6	Udara-2	38,69	10,03	12,47
7	Udara-3	39,1	10,06	16,72
8	Udara-4	38,14	10,03	14,83
9	Tawar-1	38,75	10,03	19,81
10	Tawar-2	38,82	10,05	19,13
11	Tawar-3	38,12	10,05	20,68
12	Tawar-4	38,52	10,07	4,70

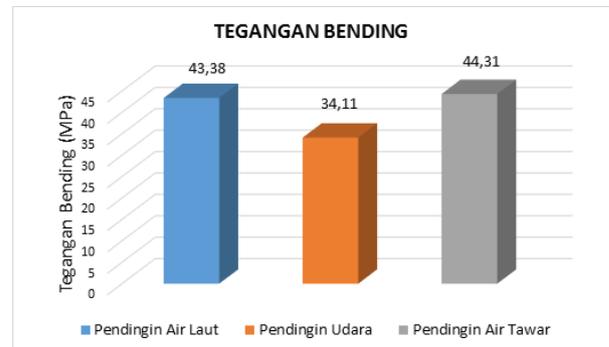
Tabel 7. Data Hasil Pengujian Tekuk/Bending (Lanjutan)

No.	ΔL saat patah (mm)	Tegangan Tekan (Mpa)	Rata-rata Tegangan tekuk (Mpa)
1	24,58	48,80	46,76
2	29,28	56,89	
3	18,24	40,86	
4	24,36	40,49	
5	16,72	32,45	34,11
6	12,47	32,27	
7	16,72	35,89	
8	14,83	35,81	
9	19,81	42,42	39,19
10	19,13	42,50	
11	20,68	48,00	
12	4,70	23,84	

Berdasarkan tabel 7 dapat dihitung nilai standar deviasi untuk setiap variasi pendinginan. Pada variasi pendingin air laut memiliki nilai standar deviasi sebesar 7,77 maka spesimen 2 pada variasi pendingin air laut tidak diikutsertakan dalam perhitungan karena melebihi standar deviasi. Pada variasi udara memiliki nilai standar deviasi sebesar 6,96, karena selisih tidak terlalu jauh maka 4 spesimen udara diikutsertakan dalam tabel. Pada variasi air laut memiliki nilai standar deviasi sebesar 10,56 sehingga spesimen 4 pada pendingin air tawar tidak diikutsertakan dalam perhitungan selanjutnya karena melebihi nilai standar deviasi.

Tabel 8. Data Hasil Pengujian Tekuk/Bending dengan Standar Deviasi

Spesimen	Tegangan Tekan (Mpa)	Rata-rata Tegangan tekuk (Mpa)
Laut-1	48,80	43,38
Laut-3	40,86	
Laut-4	40,49	
Udara-1	32,45	34,11
Udara-2	32,27	
Udara-3	35,89	
Udara-4	35,81	
Tawar-1	42,42	44,31
Tawar-2	42,50	
Tawar-3	48,00	



Gambar 9. Diagram Hasil Rata-Rata Tegangan Bending

Dari hasil pengujian tekuk/bending, terlihat pada spesimen dengan proses pendinginan secara cepat akan memiliki kekuatan tekuk/bending yang lebih baik dibandingkan dengan hasil pengeelasan tanpa perlakuan pendinginan. Nilai kekuatan tekuk/bending tertinggi yaitu pada media pendingin air tawar dengan kekuatan rata rata tegangan bendingnya adalah 44.31 MPa. Dan terbukti bahwa nilai terendah terjadi pada spesimen dengan perlakuan pendinginan alami dengan nilai 34.11 Mpa.

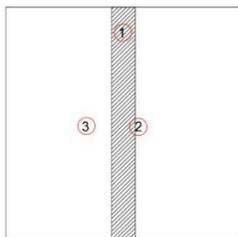
3.4 Perbandingan Hasil pengujian dengan Standar BKI

Menurut BKI pada "Rules For The Classification and Construction, Part 1 Vol VI: Rules For Welding, Section 5: Welding, Consumables and Auxillary Materials", aluminium 6061 harus mempunyai standar nilai kuat tarik (Tensile Strength) ≥ 170 Mpa. [12]

Nilai kekuatan tarik yang dihasilkan pada pengujian tarik pada variasi pendingin air laut rata-rata mempunyai tegangan tarik sebesar 161,83 MPa, pendingin udara sebesar 151,45 MPa, pendingin air tawar sebesar 161,55 Mpa. Nilai tegangan tarik saat pengujian mengalami penurunan pada sambungan las aluminium 6061 dengan variasi media pendingin dibandingkan dengan standar BKI yang disebabkan karena kualitas pengelasan kurang maksimal maupun heat input kurang maksimal, dan faktor lain yang dapat mempengaruhi hasil nilai tarik dari proses pendinginan material. Oleh karena itu diperlukan ketelitian serta pengembangan tentang pengelasan TIG (Tungsten Inert Gas) yang lebih baik lagi agar hasil yang didapatkan lebih maksimal.

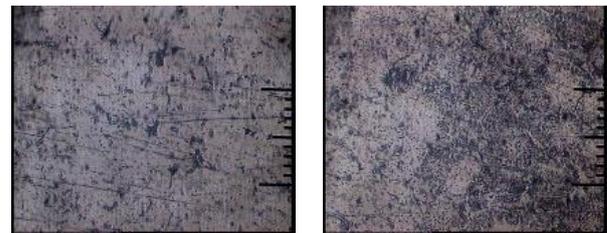
3.5 Hasil Pengujian Mikrografi

Untuk proses pengerjaan pengujian mikrografi material di amplas dengan amplas nomer 100, 200, 400, 600 dan 1000 pengerjaan urut sampai material lumayan halus kemudian material diberi cairan autosol dan digosokkan ke kain hingga material mengkilap. Lalu dilanjutkan dengan proses pengetsaan yaitu material diberikan larutan berupa NaOH 50 % agar didapatkan struktur dalam material dapat terlihat oleh mikroskop.



Gambar 10. (1) Daerah Las (2) Daerah HAZ (3) Daerah Base Metal

Dari pengujian menggunakan mikroskop untuk pengamatan struktur mikro pada aluminium 6061 setelah pengelasan TIG (Tungsten Inert Gas) dan melalui proses pendinginan dengan mencelupkan air laut tepat setelah pengelasan didapatkan hasil sebagai berikut :



(1) Daerah Las

(2) Daerah HAZ

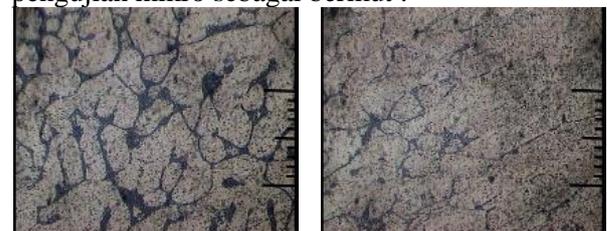


(3) Daerah Base Metal

Gambar 11. Struktur mikro pendinginan air laut.

Pada pengujian mikrografi dengan media pendingin air laut yang dihasilkan dari sambungan las TIG (Tungsten Inert Gas) pada pengelasan aluminium 6061 struktur mikro pada daerah las mengalami perubahan, terlihat bahwa kerapatan pada permukaan las lebih renggang dibandingkan dengan base metal yang terlihat lebih rapat. Pada bagian HAZ (Heat Affected Zone) terlihat mengalami perubahan pada kerapatan strukturnya. Pada variasi dengan menggunakan pendingin air laut terlihat struktur mikrografi dari hasil pengelasan mengalami perubahan pada struktur lasnya semakin rapat dan membuat spesimen menjadi semakin keras.

Pada pengujian mikrografi selanjutnya pada aluminium 6061 setelah pengelasan TIG (Tungsten Inert Gas) menggunakan media pendingin alami (udara ruang) didapatkan hasil pengujian mikro sebagai berikut :



(1) Daerah Las

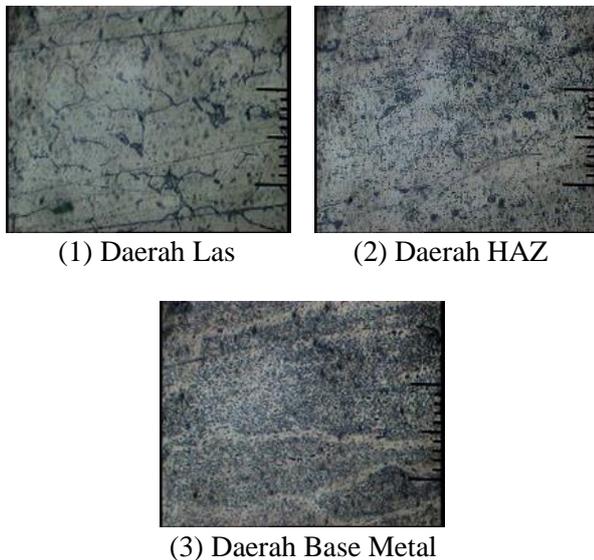
(2) Daerah HAZ



(3) Daerah Base Metal

Gambar 12. Struktur mikro pendinginan dengan udara.

Hasil pengujian mikrografi dengan variasi pendinginan alami pada daerah las mengalami perubahan bentuk struktur kerapatannya, terlihat lebih renggang dibandingkan dengan variasi media pendingin air laut. Perubahan struktur yang lebih renggang pada daerah las terlihat pula pada hasil kekuatan impact yang memiliki nilai lebih rendah dari variasi media pendingin air laut maupun air tawar.



Gambar 13. Struktur mikro pendinginan air tawar.

Hasil variasi pendinginan air tawar memiliki kerapatan yang hampir sama dengan variasi pendinginan air laut. Terlihat pada kerapatan struktur pada daerah las yang terlihat sama-sama rapat.

Pada tiap variasi media pendinginan memperlihatkan pada tiap struktur mengalami perubahan. Kerapatan struktur dari hasil las pada tiap media pendingin terlihat bahwa dengan dilakukannya proses pendinginan struktur mikrografi dari hasil pengelasan akan mengalami perubahan. Maka dapat dikatakan bahwa perubahan strukturnya lasnya semakin rapat dan membuat spesimen menjadi semakin keras. Perubahan struktur mikrografi yang menjadi lebih rapat dapat terlihat pula pada hasil kekuatan impact yang membuat benda semakin keras akan memiliki harga impact yang lebih baik

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian impact, tarik, tekuk, dan mikrografi pada aluminium 6061 setelah pengelasan TIG dengan media pendingin air laut dan air tawar, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

Hasil pengujian pada aluminium 6061 menghasilkan harga impact yang berbeda. Harga impact dari masing-masing perlakuan yaitu perlakuan pendinginan alami = 0.085 J/mm^2 , perlakuan pendinginan dengan media pendingin air laut = 0.261 J/mm^2 dan perlakuan pendinginan dengan media pendingin air tawar = 0.237 J/mm^2 .

Hasil pengujian kekuatan Tarik dari masing-masing perlakuan yaitu perlakuan pendinginan alami = 150.01 MPa , perlakuan pendinginan dengan media pendingin air laut = 160.09 MPa dan perlakuan pendinginan dengan media pendingin air tawar = 160.53 MPa .

Hasil pengujian tekuk dari masing-masing perlakuan yaitu perlakuan pendinginan alami = 34.11 N/mm^2 , perlakuan pendinginan dengan media pendingin air laut = 40.88 N/mm^2 dan perlakuan pendinginan dengan media pendingin air tawar = 39.19 N/mm^2 .

Hasil pengujian mikrografi menghasilkan perubahan struktur mikrografi dari masing-masing perlakuan, spesimen dengan perlakuan pendinginan memiliki kerapatan yang lebih rapat dibandingkan dengan spesimen perlakuan pendinginan alami.

Dari hasil pengujian impact, tekuk, tekan maupun mikrografi dapat dilihat pada hasil penelitian bahwa pendinginan yang paling optimal yaitu spesimen dengan perlakuan media pendingin air tawar dan air laut, kedua pendingin tersebut hampir memiliki nilai yang sama. Untuk uji impact perlakuan pendinginan paling optimal yaitu media pendingin air laut dengan harga impact sebesar 0.261 J/mm^2 . Dari kekuatan tarik yang optimal memberikan kekuatan tarik terbesar pada perlakuan pendinginan air tawar sebesar $160, 53 \text{ N/mm}^2$ dan harga regangan $25, 26 \%$. Dari uji tekuk / bending pendingin paling optimal yaitu media pendingin air tawar dengan tegangan *bending* sebesar $46,88 \text{ N/mm}^2$.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. Andewi, "Pengaruh Variasi Arus pada Hasil Pengelasan TIG (Tungsten Inert Gas) Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis pada Aluminium 6061," Universitas Negeri Semarang, 2016.
- [2] Sukamto, "Pengaruh Media Pendingin Terhadap Hasil Pengelasan TIG pada Baja Karbon Rendah," vol. 11, no. 2, pp. 126–137, 2009.
- [3] R. C. Kusuma, "Analisis Perbandingan Kekuatan Tarik, Impact, Tekuk dan Mikrografi Aluminium 5083 Pasca Pengelasan TIG (Tungsten Inert Gas) dengan Media Pendingin Air Laut dan Oli,"

- Tek. Perkapalan*, vol. 5, no. 4, pp. 1–9, 2017.
- [4] A. T. Wibowo, “Pengaruh Heat Treatment T6 pada Aluminium Alloy 6061-O dan Pengelasan Transversal Tungsten Inert Gas Terhadap Sifat Mekanik,” vol. 2, no. 4, pp. 374–381, 2014.
- [5] H. Sonawan and R. Suratman, *Pengantar Untuk Memahami Proses Pengelasan Logam*. Bandung: Alfabeta, 2003.
- [6] Aljufri, “Pengaruh Variasi Sudut Kampuh V Tunggal dan KUat Arus pada Sambungan Logam Aluminium - Mg 5083 Terhadap Kekuatan Tarik Hasil Pengelasan TIG,” Universitas Sumatra Utara, 2008.
- [7] H. Sunaryo, *Teknik Pengelasan Kapal Jilid 1 untuk Sekolah Menengah Kejuruan*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan Departemen Pendidikan Nasional, 2008.
- [8] M. A. Priadi, “Pengaruh Media Pendingin Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Hasil Pengelasan Oxy Acetylene pada Material Baja ST-37,” *Jur. Pendidik. Tek. Mesin*, vol. 8, 2017.
- [9] A. H. Yuwono, *Buku Paduan Praktikum Karakterisasi Material 1 Pengujian Merusak (Destructive Testing)*. Depok: Departemen Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia, 2009.
- [10] R. Haq, “Analisa Kekuatan Tarik, Tekuk, dan Impak Pengelasan Flux Cored Arc Welding Material Baja St 40 Posisi 3G dengan Variasi Kuat Arus Listrik,” vol. 7, no. 4, pp. 184–193, 2019.
- [11] *ASM Handbook Volume 9 Metallography and Microstructures*, vol. 9. ASM Internasional, 2004.
- [12] *Rules For The Classification and Construction: Volume VI Rules for Welding*. Jakarta: Biro Klasifikasi Indonesia, 2015.