



Analisa Pengaruh Variasi Sudut Kampuh Terhadap Kekuatan Tarik Aluminium 6061 Dengan Gas Pelindung Argon Grade A dan Grade C Pada Pengelasan GTAW

Maulana Dicky Almanda¹⁾, Hartono Yudo¹⁾, Untung Budiarto¹⁾

¹⁾Laboratorium Pengelasan

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

*e-mail :maulanadickya48@gmail.com

Abstrak

Logam aluminium 6061 memiliki sifat ketahanan korosi yang baik dalam penerapan di bidang industri, terutama pada konstruksi perkapalan. Pemilihan metode, bentuk sambungan dan sudut kampuh las dapat mempengaruhi efektivitas kekuatan hasil sambungan pada pengelasan. Ditinjau dari permasalahan tersebut, penelitian ini memiliki tujuan mengetahui perbandingan metode pengelasan dengan variasi gas argon yang berbeda, yaitu grade A argon (Ultra High-Purity), dan grade C argon (Welding Grade). Jenis pengelasan yang digunakan ialah GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) dengan bentuk sambungan single V-butt joint beserta variasi sudut kampuh las 40°, 60°, dan 80°. ER 5356 dipilih sebagai elektroda pengelasan dengan tegangan 22V dan arus 185 A. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa sambungan dari metode pengelasan GTAW mempunyai kekuatan tarik rata-rata maksimal sebesar 147,27 MPa dengan nilai regangan 21,02% pada gas pelindung argon grade C variasi sudut kampuh sebesar 80°, dan kekuatan tarik rata-rata maksimal sebesar 141,16 MPa dengan nilai regangan 21,76% pada gas pelindung argon grade A variasi sudut kampuh 60°. Dengan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa pemakaian gas pelindung argon grade C lebih baik dibanding gas pelindung argon grade A. Sudut kampuh 80° merupakan sudut kampuh las yang memiliki masukan panas dan kekuatan hasil lasan yang baik pada aluminium 6061.

Kata Kunci : Aluminium 6061, Pengelasan GTAW, Kekuatan Tarik, Sudut Kampuh Las, Gas Pelindung Argon

1. PENDAHULUAN

Pengelasan merupakan proses penyambungan secara permanen material logam dengan ikatan metalurgi yang dihasilkan sewaktu logam dalam keadaan lumer atau cair. Penggunaan teknik pengelasan dalam konstruksi dapat meliputi sarana transportasi, pipa, saluran, rangka baja, dan juga bidang perkapalan. Ada berbagai jenis material yang digunakan oleh perusahaan dalam pembuatan suatu produk, salah satunya adalah logam aluminium. Paduan jenis 6061 memiliki sifat mampu las dan kekuatan daya tahan korosi yang baik. Juga sering digunakan pada bidang perkapalan terutama pembuatan lambung kapal, konstruksi rangka penguat pada stiffener, dan struktur rangka bangunan lepas pantai [1]. Penggunaan aluminium dapat menghemat berat dibandingkan dengan baja, seperti untuk meningkatkan muatan kapal, untuk memperluas

kapasitas peralatan, memungkinkan distribusi bobot yang baik, meningkatkan stabilitas kapal, dan memfasilitasi desain lambung yang efisien.

Dalam pembuatan suatu konstruksi bangunan kapal, diperlukan material yang bersifat kuat untuk menerima pembebanan. Material juga harus elastis agar ketika terjadi pembebanan berlebih tidak patah. Untuk mengetahui nilai mutlak dan akurasi dari sifat mekanik logam, dilakukan pengujian pada sampel dari material. Uji tarik adalah suatu metode yang digunakan untuk menguji kekuatan suatu bahan material dengan cara memberikan beban gaya yang berlawanan arah. Hasil yang didapatkan dari pengujian tarik sangat penting untuk rekayasa teknik dan desain bangunan kapal karena menghasilkan data kekuatan material. Sifat mekanik material yang dapat diketahui adalah kekuatan dan elastisitas. Pengujian ini juga banyak dilakukan untuk melengkapi informasi rancangan

dasar kekuatan suatu bahan dan sebagai data pendukung bagi spesifikasi bahan karena dapat diukur ketahanan suatu material terhadap gaya statis yang diberikan secara perlahan.

Metode pengelasan GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*) merupakan proses pengelasan dimana busur nyala listrik ditimbulkan oleh elektroda tungsten dengan benda kerja logam. Pada prinsipnya panas dari busur terjadi antara elektrode tungsten dan logam induk akan meleburkan logam pengisi ke logam induk di mana busurnya dilindungi oleh gas mulia (Argon atau Helium). Pada las GTAW, gas argon sering digunakan sebagai gas pelindung selain lebih murah dan mudah didapat, gas argon dapat digunakan untuk pengelasan semua logam. Beberapa kemurniaan tingkatan pada gas argon, meliputi welding grade (Grade C), high purity grade, dan ultra high purity (Grade A).

Kekuatan hasil sambungan las dipengaruhi oleh berbagai faktor, dari segi bentuk kampuh, dan juga pemilihan sudut kampuh las. Sambungan tumpul (Single-V) merupakan jenis sambungan yang paling efisien [2]. Pemilihan besar sudut pada alur sangat penting, dikarenakan dapat mempengaruhi masukan panas yang berpengaruh pada siklus termal panas terhadap kekuatan hasil lasan nantinya. Machmoed [3] dalam penelitiannya menyebutkan bahwa sifat mekanis yang baik dalam nilai tegangan dan regangan tarik maksimum terdapat pada sudut kampuh V 70°, sedangkan dalam pengukuran distorsi (perubahan dimensi struktur lasan) sudut kampuh V 50° relatif lebih baik karena penyusutan penampang yang merata sehingga memiliki sifat anti korosi yang baik. Dengan perencanaan yang baik maka akan memberikan hasil yang optimal.

Pada penelitian sebelumnya pengaruh variasi gas pelindung argon *grade A* dan *C* terhadap pengelasan GTAW memperoleh hasil kekuatan tertinggi uji impak dan tekuk yang berbeda, yaitu untuk uji impak sebesar 0,22 J/mm² dan uji tekuk sebesar 1458 N/mm². Nilai tertinggi tersebut diperoleh dari pemakaian gas pelindung argon *grade A* [4].

Anggoro (2017) dalam penelitiannya menyebutkan bahwa penggunaan sudut kampuh dapat memberikan pengaruh yang besar terhadap nilai kekuatan bending. Hasil tertinggi yang didapat sebesar 1402,31 N/mm² menggunakan sudut kampuh 90° [5].

Pengujian tarik pada sambungan las aluminium paduan 6061 menggunakan pengelasan TIG (*Tungsten Inert Gas*) dengan variasi kampuh las dan arus listrik pada penelitian Wisnu Pranajaya memperoleh hasil nilai kekuatan tarik yang berbeda. Didapatkan kekuatan tarik maksimum

terdapat pada kampuh X, yaitu sebesar 156,55 N/mm² dengan menghasilkan regangan terendah sebesar 24,29% [6].

Ditinjau dari pokok permasalahan yang terdapat pada latar belakang diatas, maka rumusan masalah yang menjadi pembahasan pada penelitian ini adalah mengetahui hasil perbandingan pengaruh variasi sudut kampuh terhadap aluminium paduan 6061 dengan gas pelindung argon *grade A* dan *grade C* pada pengelasan GTAW setelah dilakukan uji tarik. Batasan masalah yang digunakan sebagai arahan serta acuan dalam penelitian ini adalah menggunakan material aluminium paduan 6061 yang memiliki tebal 10 mm, sambungan kampuh *single V-Butt joint* dengan variasi sudut masing-masing 40°, 60°, dan 80°. Jenis pengelasan yang digunakan adalah GTAW dengan posisi pengelasan 1G (*down hand*). Logam pengisi/elektroda (*filler metal*) yang digunakan adalah AWS ER 5356. Total spesimen yang diuji sebanyak 24 buah dengan standar pengujian ASTM E8.

Adapun tujuan dari penelitian ini ialah untuk mengetahui perbandingan nilai kekuatan tarik sambungan las pada variasi sudut kampuh, penggunaan gas pelindung argon yang berbeda, dan memperoleh variasi sudut kampuh dan pemakaian gas pelindung argon pada pengelasan GTAW untuk aluminium paduan 6061.

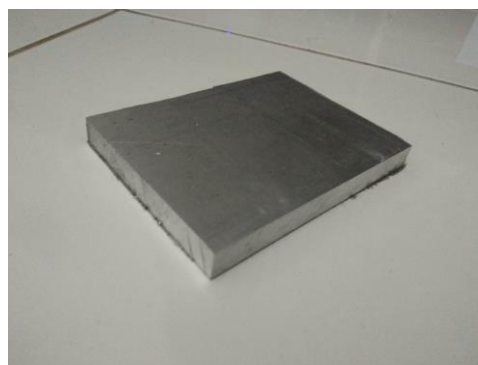
Manfaat dari penelitian ini adalah mengetahui hasil terbaik antara penggunaan variasi sudut kampuh dalam metode pengelasan GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*) dengan menggunakan gas pelindung argon *grade A* dan *grade C*.

2. METODE

2.1 Pengumpulan Data

Diperoleh dari literatur buku, jurnal, artikel, modul, internet, dan studi lapangan secara langsung.

Objek penelitian pada penyusunan tugas akhir ini adalah Aluminium 6061, yang merupakan jenis paduan yang sering digunakan pada konstruksi lambung kapal, dan bangunan lepas pantai.



Gambar 1. Plat Aluminium 6061

Tabel 1. Material Properti Aluminium 6061 [7]

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

Pengelasan GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*) merupakan salah satu dari bentuk las busur listrik (*Arc Welding*) yang menggunakan inert gas sebagai pelindung dengan tungsten atau wolfram sebagai elektroda. Gas pelindung yang dapat digunakan pada metode pengelasan ini ialah gas argon, helium, atau campuran antara keduanya. Gas mulia argon memiliki beberapa tingkatan kemurniaan, yaitu *grade A (Ultra High Purity)*, *grade B (High Purity)*, dan *grade C (Welding grade)*.

Ada 3 tingkatan gas argon, yaitu:

1. *Grade A : Ultra high purity* argon digunakan dalam industri elektronik dan industri terkait, serta dalam penggunaan spectrograph.
2. *Grade B : High purity* argon digunakan dalam industri lampu dan sejenisnya.
3. *Grade C : Commercial Grade* argon digunakan dalam industry pengelasan dan dalam bidang metalurgi.

Tabel 2. Karakteristik Gas Pelindung Argon [8]

SI. no.	Characteristic	Grade A	Grade B	Grade C
1	Oxygen, ppm, Max	0,5	5,0	10,0
2	Nitrogen, ppm, Max	2,0	10,0	300
3	Hydrogen, ppm, Max	1,0	2,0	5,0
4	Water vapours, ppm, Max	0,5	4,0	7,0
5	Carbon dioxide, ppm, Max	0,5	0,5	3,0
6	Carbon monoxide, ppm, Max	0,5	0,5	2,0
7	Hydrocarbons, ppm, Max	0,2	0,5	

Elektroda ER (elektroda rod) 5356 merupakan paduan aluminium magnesium yang baik untuk digunakan dalam pengelasan paduan aluminium cor dan tempa. Sifat mekanik yang dimiliki, meliputi [9]:

- *Density* : 0,096 lbs/cu in
- *Tensile Strength* : 39.000 psi
- *Yield Strength* : 19.000

- *Elongation* : 17%

Kualitas dari sambungan las berpengaruh terhadap hasil kekuatan sambungan las tersebut. Masukan panas (*heat input*) sangat mempengaruhi kualitas sambungan, terutama pada struktur mikro dan sifat-sifat mekanik las. Masukan panas ditentukan oleh beberapa parameter pengelasan diantaranya adalah, tegangan busur las (*E*), arus listrik las (*I*), dan kecepatan pengelasan (*v*).

$$HI = \frac{60 \times E \times I}{v} \quad (1)$$

Pengujian tarik (*tensile test*) dilakukan untuk menentukan reaksi material pada saat dikenakan beban atau deformasi gaya-gaya dari luar yang menyebabkan suatu material mengalami perubahan struktur. Sifat-sifat yang dimiliki dalam pengujian metode ini adalah :

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

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

Dimana, σ adalah tegangan tarik maksimum (MPa, N/mm²), *P* adalah beban maksimum (N), dan *A₀* adalah luas penampang mula-mula (mm²).

2. Regangan tarik maksimum (*e*)
Pertambahan panjang maksimum yang dihasilkan dari suatu material setelah dilakukan pengujian. Regangan tarik dapat menunjukkan pertambahan panjang dari suatu material setelah perpatahan terhadap panjang awalnya.

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

$$e = \frac{Li - Lo}{Lo} \times 100\% \quad (4)$$

Dimana, *Li* adalah Panjang setelah patah (mm), *Lo* adalah Panjang mula-mula (mm), *e* adalah Regangan (%).

3. Modulus elastisitas (E)

Merupakan ukuran kekakuan material pada grafik tegangan-regangan. Semakin besar nilai dari modulus elastisitas, maka material tersebut semakin sedikit mengalami perubahan bentuk yang dapat mengakibatkan nilai regangan elastis dari material semakin kecil. Modulus elastisitas dapat dirumuskan :

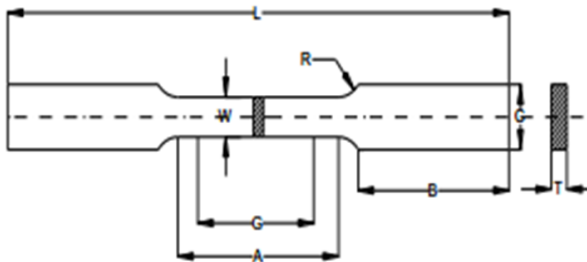
$$E = \frac{\sigma}{e} \quad (5)$$

Dimana, E adalah Modulus elastisitas (MPa), σ adalah Tegangan Maksimum (KN/mm²), dan e adalah Regangan (%) [10].

2.2 Parameter Penelitian

1. Parameter Tetap

- Spesimen Aluminium 6061
- Tipe Pengelasan : GTAW
- Kecepatan Pengelasan : 13 cm/menit
- Kuat Arus : 185 Ampere
- Voltase : 20 Volt
- Diameter Elektroda : 3,2 mm
- Volume Aliran Gas : 10 L/menit
- Dimensi Ukuran Spesimen :



Gambar 2. Bentuk Spesimen Uji Tarik (ASTM E8/E8M-09)

Keterangan :

- Gage Length (G) : 50,0 mm
- Length of reduced section (A) : 57 mm
- Width (W) : 12,5 mm
- Thickness (T) : 10 mm
- Radius of fillet (R) : 12,5 mm
- Overall length (L) : 200 mm
- Width of grip section (C) : 20 mm
- Length of grip section (B) : 50 mm

2. Parameter Peubah

- Sudut Kampuh 40°, 60°, 80°
- Gas Pelindung Argon Grade A, dan C
- Pengujian Tarik

3. Lokasi Penelitian

Pada penelitian Tugas Akhir ini, proses pengelasan GTAW dilakukan di laboratorium pengelasan milik Inlastek Welding Institute di kota Surakarta, sedangkan pelaksanaan pengujian tarik material dilakukan di laboratorium Bahan Teknik Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada (UGM), Yogyakarta.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Masukan Panas (Heat Input)

Pada proses pengelasan GTAW, dengan mempertimbangkan ketebalan plat dan jenis kampuh las yang telah dibuat, maka pada penggunaan elektroda memakai jenis AWS ER 5356 diameter 3,2 mm dengan kuat arus sebesar 185 Ampere, voltase sebesar 20 Volt, dan rata-rata kecepatan las sebesar 13 cm/menit pada kampuh V pengelasan. Hal ini akan berpengaruh pada masukan panas (*heat input*) dan penetrasi sambungan las agar menjadi maksimal. Nilai HI (*Heat Input*) yang diperoleh dari hasil perhitungan adalah:

$$\begin{aligned} \text{Kampuh V Posisi 1G} &= \frac{60 \times 20 \text{ V} \times 185 \text{ A}}{13 \text{ cm/menit}} \\ &= 17076,92 \text{ Joule/cm} \end{aligned}$$

3.2 Hasil Pengujian Tarik (Tensile Test)

Pengujian tarik dilakukan menggunakan standar uji ASTM E8 pada tanggal 18 Januari 2020 yang bertempat di laboratorium Teknik Bahan Universitas Gadjah Mada (UGM), Yogyakarta. Hasil yang didapatkan dari pengujian tarik adalah nilai tegangan tarik, regangan tarik, dan modulus elastisitas, yang menjadi acuan mengetahui kekuatan tarik dari material aluminium paduan 6061 setelah dilakukan pengelasan menggunakan metode las GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*).

Tabel 3. Data Hasil Pengujian Tarik Base Metal Aluminium 6061 [11]

Spesimen (Aluminium 6061)	Tegangan (σ_{max}) (MPa)	Regan (%)	E (GPa)
BM 1	303,75	10,9	2,78
BM 2	305,26	11,1	2,75
BM 3	304,34	10,9	2,79
Rata-rata	304,45 MPa	10,96%	2,77 GPa

3.2.1 Tegangan Tarik Maksimum

Dalam penelitian tugas akhir ini, nilai dari tegangan tarik dapat digunakan sebagai acuan untuk mengetahui kekuatan tarik dari sambungan las pada aluminium paduan 6061 setelah dilakukan pengelasan GTAW.

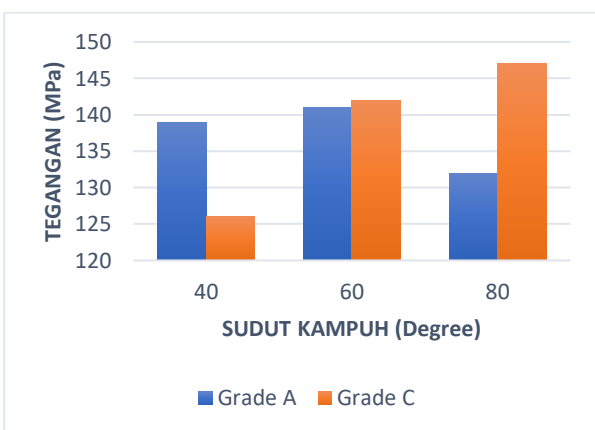
Dari pengujian yang telah dilakukan, maka diperoleh hasil pengujian tarik sebagai berikut:

Tabel 4. Data Hasil Pengujian Tarik Argon *Grade A* dengan Variasi Sudut Kampuh

Spesimen	to (mm)	wo (mm)	P Max (KN)	σ Max (MPa)	σ rata-rata (MPa)
40 A-1	14,8	10,21	17,83	118,00	
40 A-2	14,42	10,39	21,79	145,44	
40 A-3	14,58	10,21	21,77	146,24	138,80
40 A-4	14,42	10,14	21,28	145,54	
60 A-1	14,53	10,09	21,12	144,06	
60 A-2	14,7	10,36	21,31	139,93	
60 A-3	13,65	10,37	20,52	144,97	141,16
60 A-4	13,73	10,42	19,41	135,67	
80 A-1	14,49	10,41	20,49	135,84	
80 A-2	13,92	10,29	17,99	125,60	
80 A-3	14,95	10,45	20,7	132,50	132,36
80 A-4	14,66	10,37	20,6	135,50	

Tabel 5. Data Hasil Pengujian Tarik Argon *Grade C* dengan Variasi Sudut Kampuh

Spesimen	to (mm)	wo (mm)	P Max (KN)	σ Max (MPa)	σ rata-rata (MPa)
40 C-1	15,34	10,09	20,5	132,45	
40 C-2	16,69	10,25	19,58	114,45	
40 C-3	15,33	10,38	20,23	127,13	125,61
40 C-4	14,74	10,26	19,42	128,41	
60 C-1	14,28	10,19	20,88	143,49	
60 C-2	14,96	10,17	21,29	139,93	
60 C-3	14,38	10,23	20,83	141,60	141,70
60 C-4	14,6	10,14	20,99	141,78	
80 C-1	13,81	10,29	21,21	149,26	
80 C-2	14,07	10,34	21,07	144,83	
80 C-3	14,13	10,29	21,41	147,25	147,27
80 C-4	14,16	10,08	21,09	147,76	



Gambar 3. Grafik Tegangan Tarik

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, hasil yang didapat pada grafik pengujian tarik menunjukkan bahwa nilai kekuatan tarik maksimal yang dihasilkan dari pengelasan GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*) adalah sebesar 141,16 pada penggunaan gas pelindung argon *grade A* dengan sudut kampuh 60°, sedangkan pada penggunaan gas pelindung argon *grade C* memiliki nilai

tegangan maksimal sebesar 147,27 pada sudut kampuh 80°.

Pada penggunaan gas pelindung argon *grade A* semakin kecil sudut kampuh, maka semakin baik nilai kekuatan tegangan tarik, hal ini terjadi karena sifat argon *grade A (Ultra High Purity)* yang halus dan getas sehingga semakin besar daerah sambungan las akan mempengaruhi daerah logam terpengaruh panas atau daerah *Heat Affected Zone (HAZ)* yang menyebabkan penurunan kekuatan pada material.

Penggunaan gas pelindung argon *grade C* semakin besar sudut kampuh, maka semakin baik kekuatan hasil lasan. Hal ini dikarenakan semakin besar sudut kampuh maka semakin besar juga daerah yang terpengaruh oleh panas dari proses pengelasan, sehingga hasil sambungan menjadi getas atau patah bila mendapat tarikan sampai terjadi kondisi plastis atau menuju titik patah (*at break*).

Berdasarkan hasil pengujian nilai kekuatan tarik turun signifikan dibandingkan *base metal*. Hal ini diakibatkan pengendalian masukan panas (*Heat Input*) yang terlalu tinggi atau tidak sesuai. Karakteristik yang paling penting dari masukan panas adalah mengatur laju pendinginan dalam lasan dan akan mempengaruhi struktur mikro logam las dan zona yang terpengaruh oleh panas, sehingga perubahan struktur mikro secara langsung mempengaruhi sifat mekanik pengelasan.

Setelah diketahui hasil dari setiap pengujian spesimen dengan variasi gas argon dan sudut kampuh yang berbeda, penggunaan gas pelindung argon *grade C* lebih baik dibandingkan dengan argon *grade A* secara keseluruhan dari variasi sudut kampuh.

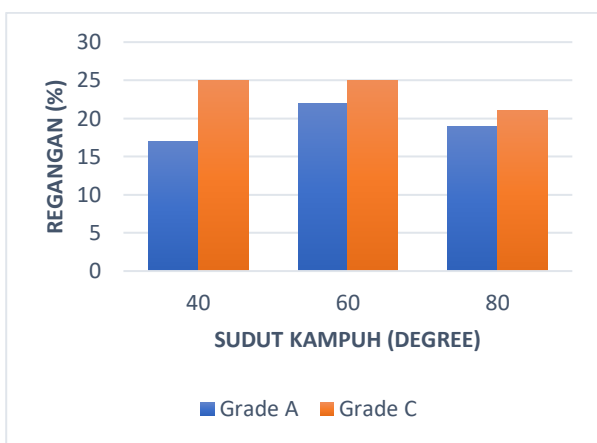
3.2.2 Regangan Tarik Maksimum

Tabel 6. Data Hasil Pengujian Regangan Tarik Argon *Grade A* dengan Variasi Sudut Kampuh

Spesimen	Lo (mm)	Δl (mm ²)	Regangan Maksimal (%)	Rata-rata Regangan Maksimal (%)
40 A-1	50	5,47	10,94	
40 A-2	50	10,3	20,6	
40 A-3	50	9,52	19,04	16,63
40 A-4	50	7,98	15,96	
60 A-1	50	11,95	23,9	
60 A-2	50	11,59	23,18	
60 A-3	50	9,95	19,9	21,76
60 A-4	50	10,04	20,08	
80 A-1	50	11,45	22,9	
80 A-2	50	6,75	13,5	
80 A-3	50	10,27	20,54	18,78
80 A-4	50	9,1	18,2	

Tabel 7. Data Hasil Pengujian Regangan Tarik Argon *Grade C* dengan Variasi Sudut Kampuh

Spesimen	Lo (mm)	Δl (mm ²)	Regangan Maksimal (%)	Rata-rata Regangan Maksimal (%)
40 C-1	50	13,2	26,4	25,16
40 C-2	50	12,51	25,02	
40 C-3	50	12,29	24,58	
40 C-4	50	12,33	24,66	
60 C-1	50	13,42	26,84	24,85
60 C-2	50	12,33	24,66	
60 C-3	50	13,18	26,36	
60 C-4	50	10,77	21,54	
80 C-1	50	11,37	22,74	21,02
80 C-2	50	9,77	19,54	
80 C-3	50	10,41	20,82	
80 C-4	50	10,5	21	



Gambar 4. Grafik Regangan Tarik

Nilai regangan rata-rata terbesar yang dihasilkan dari sambungan las aluminium paduan 6061 menggunakan metode pengelasan GTAW pengujian tarik adalah senilai 25,16% pada pemakaian gas pelindung argon *grade C* dengan sudut kampuh 40°. Sedangkan regangan rata-rata terkecil senilai 16,63% pada pemakaian gas pelindung argon *grade A* dengan sudut kampuh 40°.

3.2.3 Modulus Elastisitas

Ukuran kekakuan suatu material pada perbandingan antara tegangan dan regangan. Semakin besar nilai dari modulus elastisitas, maka material tersebut semakin sedikit mengalami perubahan bentuk, dan juga semakin kaku. Pada penelitian ini didapatkan nilai modulus elastisitas hasil pengujian tarik sebagai berikut:

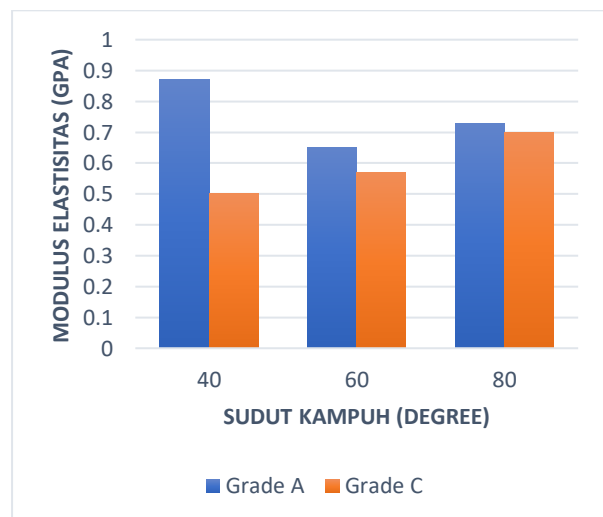
Tabel 8. Data Hasil Modulus Elastisitas Argon *Grade A* dengan Variasi Sudut Kampuh

Spesimen	σ Max (MPa)	Regangan (%)	E (MPa)	E (GPa)	E rata-rata (GPa)
40 A-1	118,00	10,94	1078,57	1,08	0,87
40 A-2	145,44	20,6	706,01	0,71	
40 A-3	146,24	19,04	768,08	0,77	
40 A-4	145,54	15,96	911,87	0,91	
60 A-1	144,06	23,9	602,75	0,6	0,65
60 A-2	139,93	23,18	603,66	0,6	
60 A-3	144,97	19,9	728,47	0,73	
60 A-4	135,67	20,08	675,65	0,68	
80 A-1	135,84	22,9	593,18	0,59	0,73
80 A-2	125,60	13,5	930,34	0,93	
80 A-3	132,50	20,54	645,08	0,64	
80 A-4	135,50	18,2	744,53	0,74	

Spesimen	σ Max (MPa)	Regangan (%)	E (MPa)	E (GPa)	E rata-rata (GPa)
40 C-1	132,45	26,4	501,69	0,5	0,5
40 C-2	114,45	25,02	457,45	0,46	
40 C-3	127,13	24,58	517,22	0,52	
40 C-4	128,41	24,66	520,73	0,52	
60 C-1	143,49	26,84	534,62	0,53	0,57
60 C-2	139,93	24,66	567,45	0,57	
60 C-3	141,60	26,36	537,17	0,54	
60 C-4	141,78	21,54	658,23	0,66	
80 C-1	149,26	22,74	656,36	0,66	0,7
80 C-2	144,83	19,54	741,18	0,74	
80 C-3	147,25	20,82	707,26	0,71	
80 C-4	147,76	21	703,61	0,7	

Tabel 9. Data Hasil Modulus Elastisitas Argon *Grade C* dengan Variasi Sudut Kampuh

Spesimen	σ Max (MPa)	Regangan (%)	E (MPa)	E (GPa)	E rata-rata (GPa)
40 A-1	118,00	10,94	1078,57	1,08	0,87
40 A-2	145,44	20,6	706,01	0,71	
40 A-3	146,24	19,04	768,08	0,77	
40 A-4	145,54	15,96	911,87	0,91	
60 A-1	144,06	23,9	602,75	0,6	0,65
60 A-2	139,93	23,18	603,66	0,6	
60 A-3	144,97	19,9	728,47	0,73	
60 A-4	135,67	20,08	675,65	0,68	
80 A-1	135,84	22,9	593,18	0,59	0,73
80 A-2	125,60	13,5	930,34	0,93	
80 A-3	132,50	20,54	645,08	0,64	
80 A-4	135,50	18,2	744,53	0,74	



Gambar 5. Grafik Modulus Elastisitas

Nilai rata-rata modulus elastisitas tertinggi pada sambungan las aluminium paduan 6061 terhadap pengelasan GTAW adalah sebesar 0,87 GPa pada penggunaan gas pelindung argon *grade A* dengan sudut kampuh 40°. Sedangkan nilai rata-rata modulus elastisitas terendah adalah 0,5 GPa pada penggunaan gas pelindung argon *grade C* dengan sudut kampuh 40°.

3.3 Pengujian Statistik Hasil Pengujian Kekuatan Tarik

Pengujian statistik merupakan uji kebenaran suatu pernyataan yang berupa hasil statistik/data yang menghasilkan kesimpulan antara menerima atau menolak asumsi hasil uji. Hal ini bertujuan untuk menetapkan suatu dasar, sehingga dapat mengumpulkan bukti berupa data-data dalam penentuan keputusan dalam menerima atau menolak pernyataan dari kebenaran tersebut.

Pada penelitian ini, metode uji statistik yang digunakan ialah analisa hasil statistik Anova (*Analysis of Variance*) menggunakan pemrograman SPSS. Uji Anova merupakan bentuk uji hipotesis statistik pengambilan kesimpulan berdasarkan data atau kelompok berdasarkan nilai rata-rata dengan 2 atau lebih varian sampel yang berbeda. Sebelum memulai uji Anova, dilakukan terlebih dahulu uji Normalitas sebagai persyaratan dalam rangkaian uji Anova. Sebaran data untuk masing-masing varian harus berdistribusi normal.

Sampel yang digunakan pada pengujian statistik ini adalah spesimen las menggunakan gas pelindung argon *grade* A dan C dengan variasi sudut kampuh. Dari hasil pengujian kekuatan tarik dilakukan uji Normalitas data yang menghasilkan *output* sebagai berikut:

Tabel 10. Data hasil uji normalitas Anova (1)

Tests of Normality							
	Grade Argon dan Sudut Kampuh	Kolmogorov-Smirnov ^a		Shapiro-Wilk Stat		df	Sig.
		istic	df	istic	df		
Tegangan Tarik	A 40	.434	4	.653	4		.003
	A 60	.252	4	.918	4		.526
	A 80	.262	4	.839	4		.193
	C 40	.327	4	.873	4		.308
	C 60	.228	4	.965	4		.813
	C 80	.245	4	.964	4		.807

a. Lilliefors Significance Correction

Dalam penentuan analisa pernyataan dari hasil uji normalitas, ditinjau dari jumlah data penelitian < 50 data, maka digunakan nilai Shapiro-Wilk Sig. Diperoleh nilai Shapiro-Wilk Sig. untuk data Tegangan Tarik pada Grade A 40 sebesar 0.003 tidak memenuhi persyaratan uji normalitas yang seharusnya data > 0.05 dikarenakan pada sampel pertama grade A 40 terjadi kesalahan saat proses uji kekuatan tarik, patahan material hasil uji tidak tepat pada daerah *gage length* sampel uji. Maka pada gas argon grade A sudut kampuh 40⁰ diambil 3 sampel hasil uji yang memenuhi syarat. Hasil ulang dari uji normalitas menghasilkan *output*:

Tabel 11. Data hasil uji normalitas Anova (2)

Tests of Normality						
	Grade Argon dan Sudut Kampuh	Kolmogorov-Smirnov ^a		Shapiro-Wilk Stat		Sig.
		istic	df	istic	df	
Tegangan Tarik	A 40	.343	3	.842	3	.220
	A 60	.252	4	.918	4	.526
	A 80	.262	4	.839	4	.193
	C 40	.327	4	.873	4	.308
	C 60	.228	4	.965	4	.813
	C 80	.245	4	.964	4	.807

a. Lilliefors Significance Correction

Hasil tersebut mengasumsikan bahwa data Tegangan Tarik untuk Grade Argon dan Sudut Kampuh adalah > 0,05 nilai Sig. berdistribusi normal. Karena asumsi dasar normalitas telah terpenuhi, maka analisa statistik uji Anova dapat dilakukan.

Setelah dilakukan pengujian normalitas data dan diketahui data berdistribusi normal kemudian dilanjutkan dengan pengujian statistik Anova. Hasil analisis yang didapatkan sebagai berikut:

Tabel 12. Nilai Mean (rata-rata) hasil uji Anova Descriptives

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	Lower Bound	Upper Bound	Minimum	Maximum
A 60	4	141.16	4.265	2.133	134.37	147.94	136	145
A 80	4	132.36	4.750	2.375	124.80	139.92	126	136
C 40	4	125.61	7.778	3.889	113.23	137.99	114	132
C 60	4	141.70	1.455	.728	139.38	144.02	140	143
C 80	4	147.28	1.840	.920	144.35	150.20	145	149
Total	23	138.68	8.712	1.817	134.91	142.45	114	149

Berdasarkan olah data menggunakan metode anova, perbedaan rata-rata nilai tegangan tarik terhadap pemakaian gas pelindung argon *grade* A dan C dengan variasi sudut kampuh yang menghasilkan rata-rata paling tinggi adalah gas pelindung argon *grade* C sudut kampuh 80⁰ sebesar 147.28.

Tabel 13. Uji Kesamaan Varian (Homogenitas)

Test of Homogeneity of Variances					
		Levene			
		Statistic	df1	df2	Sig.
Tegangan	Based on Mean	2.644	5	17	.060
	Based on Median	1.222	5	17	.341
Tarik	Based on Median	1.222	5	6.082	.400
	and with adjusted df				
	Based on trimmed mean	2.342	5	17	.086

Uji homogenitas dilakukan sebagai salah satu syarat analisa dalam melakukan uji statistik Anova. *Output* yang dihasilkan harus berasumsi sama atau homogen ($> 0,05$ Sig.). Pada penelitian ini, didapatkan hasil dari tegangan tarik dari spesimen las menggunakan gas pelindung argon *grade* A dan C dengan variasi kampuh adalah $0,06 > 0,05$ Sig. Dapat disimpulkan bahwa varian adalah sama atau homogen.

Tabel 14. Pengambilan keputusan dalam Analisis Anova

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1349.130	5	269.826	14.306	.000
Within Groups	320.635	17	18.861		
Total	1669.765	22			

Hipotesa dilakukan untuk pengamatan kekuatan tegangan tarik terhadap spesimen las dengan gas pelindung argon *grade* A dan C serta variasi sudut kampuh. Dasar pengambilan keputusan dalam analisis Anova, berupa:

- H_0 = **Tidak ada perbedaan** antara kekuatan tarik dengan spesimen las menggunakan gas pelindung argon dan variasi sudut kampuh (nilai signifikansi (Sig) $> 0,05$)
- H_1 = **Ada perbedaan** antara kekuatan tarik dengan spesimen las menggunakan gas pelindung argon dan variasi sudut kampuh (nilai signifikansi (Sig) $< 0,05$)

Berdasarkan hasil dari table Anova, diperoleh nilai signifikansi (Sig) sebesar $0,000 < 0,05$ yang artinya H_0 ditolak bahwa rata-rata nilai tegangan tarik dari spesimen las menggunakan gas pelindung argon dan variasi sudut kampuh “ada perbedaan” secara signifikan. Spesimen las menggunakan gas pelindung argon *grade* C dengan variasi sudut kampuh 80° mempunyai rata-rata kekuatan tarik yang lebih besar daripada spesimen las uji lainnya.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil setelah dilakukan pengujian tarik pada sambungan las aluminium paduan 6061 menggunakan metode pengelasan GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*) yaitu perbandingan kekuatan tarik maksimum pada variasi sudut kampuh yang diperoleh dari hasil penelitian ialah memiliki rata-rata tegangan maksimum sebesar 147,27 MPa pada sudut kampuh 80° argon *grade* C dan rata-rata regangan terendah sebesar 16,63% pada sudut kampuh 40° argon *grade* A, sedangkan rata-rata tegangan

minimum sebesar 125,61 MPa yang memiliki regangan tertinggi sebesar 25,16% pada sudut kampuh 40° argon *grade* C. Perbandingan kekuatan tarik maksimum penggunaan gas pelindung ialah sebesar 141,16 MPa pada gas argon *grade* A dengan sudut kampuh 60° , sedangkan pada argon *grade* C memiliki nilai sebesar 147,27 MPa dengan sudut kampuh 80° . Ditinjau dari hasil pengujian statistik menggunakan metode standar uji Anova, penggunaan gas pelindung argon *grade* C dengan sudut kampuh 80° memiliki rata-rata kekuatan tarik lebih besar daripada spesimen uji lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Surdia and S. Saito, *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: PT Pradnya Paramita, 1999.
- [2] H. Wiryosumarto and T. Okumura, *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: PT Pradnya Paramita, 2000.
- [3] B. R. Machmoed, “Analisis Pengaruh Variasi Sudut Kampuh V Sambungan Las MIG Terhadap Distorsi dan Kekuatan Tarik Baja Karbon Rendah,” Gorontalo, 2012.
- [4] M. A. Dewantara, “Analisa Pengaruh Gas Pelindung Argon Grade A dan Grade C Terhadap Kekuatan Impact dan Tekuk Sambungan Butt Joint pada Aluminium 5083,” vol. 5, no. 2, pp. 367–373, 2017.
- [5] P. R. M. Anggoro, “Pengaruh Variasi Sudut Kampuh dan Kuat Arus terhadap Struktur Mikro dan Kekuatan Bending Sambungan Las SMAW Baja Karbon Rendah,” Universitas Negeri Semarang, 2017.
- [6] W. Pranajaya, “Analisa Pengaruh Variasi Kampuh Las dan Arus Listrik Terhadap Kekuatan Tarik dan Struktur Mikro Sambungan Las TIG (Tungsten Inert Gas) pada Aluminium 6061,” *Tek. Perkapalan*, vol. 7, no. 4, pp. 286–293, 2019.
- [7] Florida Aerospace Metal Distributor, “ASM Aerospace Specification Metals, Inc.,” 2019. [Online]. Available: <http://www.aerospacemetals.com/index.html>. [Accessed: 09-Mar-2020].
- [8] M. Kisan, S. Sangathan, J. Nehru, and S. G. Pitroda, “Argon, Compressed and Liquid — Specification,” 1998.
- [9] A. L. E. Company, “5356 Aluminum Weld Wire,” *The Harris Products Group*, United States, pp. 1–2.
- [10] R. Setiaji, “Pengujian Tarik,” Jakarta: Laboratorium Metalurgi Fisik FTUI, 2009.
- [11] A. Nurhafid, “Analisa Pengaruh Perbedaan Feed Rate Terhadap Kekuatan Tarik Dan Impak Aluminium 6061 Metode

Pengelasan Friction Stir Welding,” *J. Tek. Perkapalan*, vol. 5, no. 2, pp. 473–481, 2017.