

# Pengaruh Kombinasi Ketebalan Plat Aluminium 2024 T42 Terhadap Sifat Mekanis pada Proses Resistance Spot Welding Part Door Assy Helikopter NBELL 412EP

Bian Yusriansyah Fuad<sup>1</sup>, Iis Siti Aisyah<sup>2</sup>, Dini Kurniawati<sup>3</sup>, Agussalim<sup>4</sup>

<sup>1,2,3</sup> Universitas Muhammadiyah, Malang

<sup>4</sup>Quality Laboratory Test & Metrology, Quality Assurance / PT. Dirgantara Indonesia, Bandung

Kontak Person:

Bian Yusriansyah Fuad

Jalan Raya Tlogomas 246 Malang, Telp/Fax: (0341) 464318-319

E-mail: [bianyfuad10@gmail.com](mailto:bianyfuad10@gmail.com)

## Abstrak

Pengelasan dengan metode pengelasan titik (*Resistance Spot Welding*) banyak dijumpai pada industri otomotif, khususnya pada bidang industri pesawat terbang. Kegagalan pada sambungan sering sekali terjadi. Hal tersebut dapat diakibatkan oleh beberapa faktor, termasuk salah satunya adalah faktor ketebalan plat. Pada penelitian ini menggunakan variasi dua jenis kombinasi ketebalan plat yaitu  $0.5 + 0.6$  mm dan  $0.5 + 1.6$  mm. Dengan menggunakan parameter pengelasan yang sama maka akan dibandingkan kualitas hasil pengelasannya lewat beberapa rangkaian pengujian. Penentuan kelayakan hasil pengelasan dengan parameter yang digunakan tidak hanya dapat dilihat dari hasil pengujian tarik saja. Akan tetapi dibutuhkan pengujian penunjang seperti pengujian *macrography* dan pengujian kekerasan. Hasil dari pengujian Tarik terhadap kedua kombinasi sudah melampaui nilai standar yang ada yaitu sebesar 281.53 lbf dan 340.78 lbf ( $>175$ lbf). Untuk hasil pengujian *macrography* nilai penetrasi untuk kombinasi ketebalan  $0.5 + 0.6$  mm melebihi standar maksimum dan minimum penetrasi ( $20.00 \div 80.00$ ) yaitu  $43.18 \div 85.41$ . sedangkan untuk kombinasi ketebalan  $0.5 + 1.6$  mm nilai penetrasi sudah aman dan sesuai dengan standar yaitu  $26.00 \div 56.00$ . Untuk ukuran weld nugget atau spot weld dari kedua kombinasi sudah baik dan melampaui standar yang ada. Berikutnya untuk hasil pengujian kekerasan dengan metode *Micro Hardness Vickers* yaitu nilai kekerasan bagian weld nugget yang menurun dari nilai kekerasan logam induknya. Dengan kata lain nilai kekerasan akan semakin besar nilainya apabila semakin menjauhi bagian weld nugget.

**Keywords:** *Resistance Spot Welding, Aluminium, Tensile-Shear Test, Macrography, Micro Hardness*

## 1. Pendahuluan

Pengelasan merupakan ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Pengelasan sudah umum dipergunakan dalam bidang industri dan konstruksi, terutama pada industri kendaraan dan konstruksi bangunan. Disamping kegunaannya dalam pembuatan, pengelasan juga dipergunakan dalam perbaikan (reparasi). Perbaikan ini dipergunakan untuk menambah kekuatan dari suatu objek (rekayasa) dengan pelapisan permukaan dan dapat digunakan untuk sekedar memperbaiki bagian yang mengalami kerusakan seperti lubang dan aus [1].

Pengelasan resistansi titik atau singkatnya pengelasan titik ini biasa disebut dengan *Resistance Spot Welding* (RSW) yakni suatu cara pengelasan dimana permukaan plat yang disambung ditekan satu sama lain dan pada saat yang sama arus listrik dialirkan sehingga permukaan tersebut menjadi panas dan mencair karena adanya resistansi listrik [1], [2]. Terdapat banyak keunggulan dari jenis pengelasan ini antara lain proses pengerjaan yang cepat dan praktis, biaya produksi rendah, kualitas sambungan yang bagus dan mampu diaplikasikan dengan hasil konstan secara kontinyu [2]–[5]. Pengaplikasian pengelasan ini sering dijumpai pada industri penerbangan. Hal tersebut dipilih karena keunggulan yang dimiliki oleh teknik pengelasan ini. Bahkan pada industri otomotif seperti halnya pada bagian *body* mobil yang mengaplikasikan pengelasan ini hingga 90% pada proses penggabungan antar partnya [5].

Terdapat tiga parameter utama pengelasan titik antara lain yaitu arus pengelasan, gaya pengelasan dan waktu pengelasan [6]. Parameter yang digunakan untuk setiap kombinasi ketebalan plat akan berbeda-beda. Hal tersebut dikarenakan setiap ketebalan memiliki sifat mekanis yang berbeda pula. Untuk mengetahui kualitas dari hasil pengelasan salah satu cara yang digunakan adalah dengan melakukan serangkaian pengujian merusak (*destructive test*) [7].

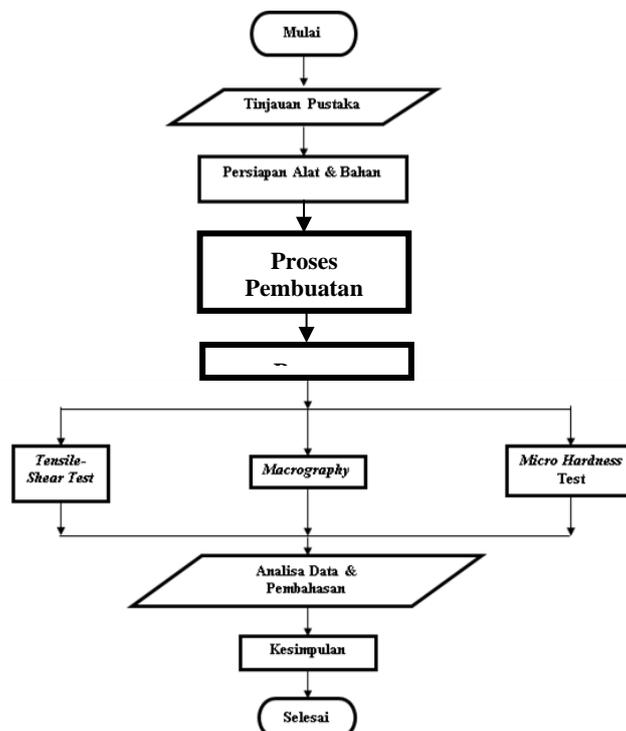
Sampai saat ini industri otomotif berjuang dengan masalah berat tubuh kendaraan, yang harus diperhitungkan oleh para insinyur [8]. Tuntutan pelanggan tentang keamanan dan kemewahan menyebabkan lembaran dan komponen yang lebih tebal untuk bagian tubuh yang lebih bertanggung jawab seperti rangka harus diterapkan. Inilah alasan mengapa beberapa bagian tubuh diganti dengan bahan ringan seperti aluminium dan magnesium, yang sifat mekaniknya serupa atau bahkan lebih baik daripada baja.

Dibandingkan dengan logam ketebalan yang sama, sambungan ketebalan yang berbeda memiliki variasi mikrostruktur dan sifat mekanis yang lebih rumit yang mempengaruhi perilaku kegagalan sambungan las pada bagian titik lasnya (*nugget*) [9]. Kualitas lasan titik diperiksa dengan tes destruktif (merusak) untuk menentukan apakah lasan yang memuaskan telah dihasilkan, seperti uji tarik quasi-statis dan uji siklus dinamis [7]. Karakteristik makro sambungan las titik juga memiliki pengaruh penting terhadap kualitas dan kinerja. Karakteristik makro dari sambungan las dijelaskan dalam beberapa hal meliputi laju leleh, laju indentasi, diameter nugget dan diameter indentasi.

Selama ini perusahaan X yang bergerak pada bidang industri penerbangan melakukan pembuatan spesimen sebelum dilakukan pengaplikasian langsung pada part. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan parameter yang tepat. Sedangkan untuk mengetahui hasilnya, perusahaan X ini hanya melakukan satu jenis pengujian saja yaitu pengujian tarik. Sehingga dilakukan penelitian pada spesimen Aluminium 2024 T42 dengan dua variasi ketebalan yaitu 0,5 + 0,6 mm dan 0,5 + 1,6 mm dengan melakukan tambahan pengujian *micro hardness* dan *macrography* untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat. Perbedaan kombinasi ketebalan tersebut dipilih untuk mengkaji lebih dalam mengenai pengaruh variasi kombinasi ketebalan logam terhadap sifat mekanis dan struktur mikro dengan penerapan parameter pengerjaan pengelasan titik yang sama.

## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dan melakukan tinjauan pustaka dari berbagai sumber lainnya. Dalam penelitian ini menggunakan bahan Aluminium 2024 T42 dengan kombinasi ketebalan 0.5 + 0.6 mm dan 0.5 + 1.6 mm dan menggunakan variabel tetap berupa parameter pengelasan. Penelitian ini dapat dijelaskan secara sederhana pada diagram proses alir penelitian pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

Proses pengelasan spesimen ini menggunakan Mesin *Resistance Spot Welding* SCIAKY Tipe P272. Gambar dari mesin ini dapat dilihat pada Gambar 2 dibawah ini.



**Gambar 2** Mesin *Resistance Spot Welding* SCIAKY Tipe P272

Terdapat parameter pengelasan yang dibuat sama untuk kedua jenis kombinasi ketebalan. Parameter pengelasan tersebut ada pada Tabel 1 sebagai berikut :

**Tabel 1** Parameter Pengelasan

<b>NO</b>	<b>PARAMETER</b>		
1	Elektroda / Diameter (mm)		CuAg / 16
2	<i>Radius Contact</i> (mm)	<i>Upper</i>	150
		<i>Lower</i>	150
4	<i>Contact Resistance</i> ( $\mu$ Ohm)		5
5	<i>Weld Class</i>		II
6	<i>Pressure</i> (Psi)	<i>Upper Regulator</i> (PG2)	26
		<i>Lower Regulator</i> (PG1)	11
		<i>Contact Gauge</i>	24
9	<i>Pressure Program</i>		<i>Variable Pressure</i>
10	<i>Power</i>		<i>Low</i>
11	<i>Phase</i>		3
12	<i>Pre Compress</i> (cycles)		10
13	<i>Squeeze</i> (cycles)		12
14	<i>Quench</i> (cycles)		10
15	<i>Hold</i> (cycles)		20
16	<i>Welding</i> (cycles)		02
17	<i>Impulses CO</i> (cycles)		02
18	<i>HT</i> (cycles)		02
	<i>Max. Current</i> (%)		57
19	<i>CD</i> (cycles)		03
	<i>Max. Current</i> (%)		27

Pengujian Tarik bertujuan untuk mengetahui besarnya nilai kekuatan Tarik dari sambungan las. Pada pengujian tarik ini pelaksanaannya mengikuti standart pengujian ASTM E8 serta dibantu dengan *software* bernama *Bluehill 3*. *Software* ini membantu penerjemahan hasil pengujian. Alat yang membantu dalam proses uji Tarik adalah UTM INSTRON 5982 yang Nampak seperti Gambar 3 dibawah ini.



**Gambar 3** UTM INSTRON 5982

Pengujian *Macrography* ini dilakukan dengan pengamatan dari mikroskop OLYMPUS SZX7 yang kemudian diterjemahkan dengan bantuan *software Olympus Stream Basic*. Berikutnya dilakukan pengamatan dan pengukuran diameter *weld nugget* dan penghitungan nilai penetrasi yang nantinya hasil dari pengamatan ini akan diolah dengan mengacu pada standart AWS D17.2. Mikroskop OLYMPUS SZX7 dapat dilihat pada Gambar 4 berikut ini.



**Gambar 4** Mikroskop OLYMPUS SZX7

Pengujian terakhir adalah pengujian kekerasan dengan metode *Micro Hardness Vickers*. Dengan dibantu *software Zwick/Roell HD Automated Hardness Testing* data hasil pengujian kekerasan mikro akan secara otomatis tersajikan setelah pengujian selesai. Alat yang digunakan untuk pengujian ini adalah Mesin Zwick Roell ZHV $\mu$  *Micro Hardness Tester* seperti yang ada pada Gambar 5 ini.



**Gambar 5** Mesin Zwick Roell ZHV $\mu$  *Micro Hardness Tester*

Penelitian dan serangkaian proses pengujian dilakukan di Laboratorium Metalurgi PT. Dirgantara Indonesia.

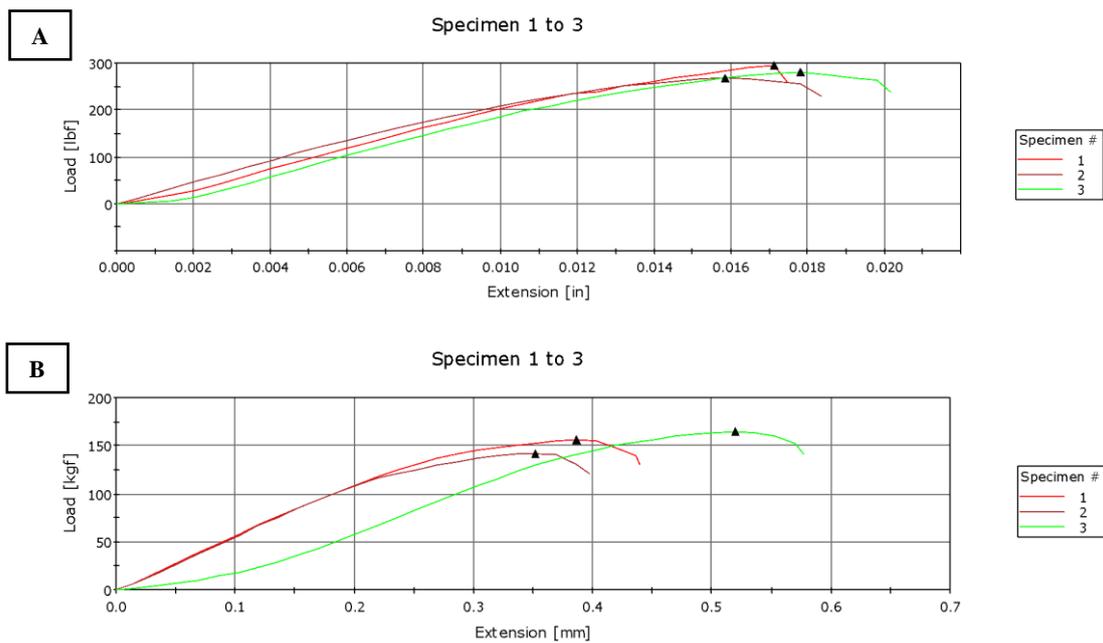
### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Pembahasan Data Hasil Pengujian Tarik

Berikut merupakan tabel data hasil uji tarik dilengkapi dengan gambar grafiknya. Dapat dilihat pada Tabel 2 dan Gambar 6 dibawah ini.

**Tabel 2** Data Hasil Uji Tarik

NO	# 0.5 + 0.6 mm	# 0.5 + 1.6 mm
	Pembebanan Maksimum (lbf)	Pembebanan Maksimum (lbf)
1	294.26	345.77
2	268.80	313.65
3	281.53	362.92
<i>Rata-rata</i>	281.53	340.78
<i>Minimum</i>	268.80	313.65
<i>Maksimum</i>	294.26	362.92
<i>DEV</i>	0.09	0.14



**Gambar 6** Grafik Hasil Uji Tarik  
 (A) Spesimen Uji # 0.5 + 0.6 mm, (B) Spesimen Uji # 0.5 + 1.6 mm

Untuk mengetahui kualitas kekuatan tarik yang dimiliki oleh setiap kombinasi yang sudah dilakukan pengujian, maka perlu ditinjau terlebih dahulu *Standart Mechanical Properties* yang dimiliki oleh spesimen uji dengan merujuk pada Tabel 3 berikut ini. Ukuran ketebalan terkecil yang dijadikan acuan dalam penentuan standar. Pada kedua kombinasi yang diuji ketebalan terkecilnya adalah 0.5 mm, atau 0.020 pada satuan *inchi*. Maka akan didapatkan *Tensile Strenght Minimum* dari kombinasi yang ada. Seperti yang bisa dilihat pada Tabel 3 dibawah ini.

**Tabel 3** *Standart Mechanical Properties* Aluminium 2024 T42 Ketebalan 0.5mm  
 [10]

Temper	Widths Inches	Thickness Inches	Tensile Strength minimum ksi	Yield Strength at 0.2 percent Offset or at Extension Indicated		Elongation in 2 in. or 4 times D $\frac{1}{2}$ , minimum Percent
				Minimum ksi	Extension under load Inch/Inch	
T42 8/	All	0.008 thru 0.009	55.0	34.0	0.0056	10
	All	0.010 thru 0.020	57.0	34.0	0.0056	12
	All	0.021 thru 0.062	57.0	34.0	0.0056	15
	All	0.063 thru 0.249	60.0	36.0	0.0056	15
	All	0.250 thru 0.499	60.0	36.0	0.0058	12
	All	0.500 thru 1.000 $\frac{4}{}$	61.0	38.0	0.0055	8
	All	1.001 thru 1.500 $\frac{4}{}$	60.0	38.0	0.0056	7
	All	1.501 thru 2.000 $\frac{4}{}$	60.0	38.0	0.0055	6
	All	2.001 thru 3.000 $\frac{4}{}$	58.0	38.0	0.0055	4

Didapatkan *Tensile Strenght Minimum* untuk ketebalan 0.5 mm sebesar 57.0 ksi, yang mana apabila dikonversikan menjadi psi menjadi 57000 psi. Kemudian meninjau tabel *Standart Shear Load Spot Welding* yang terdapat pada Tabel 4 berikut ini dan merujuk pada kolom *Ultimate Strenght* untuk

57000 psi selanjutnya disesuaikan dengan baris untuk ketebalan 0.5 mm agar dapat diketahui standart untuk *Ultimate Strength Minimum* dan *Ultimate Strength Average*. Sebagaimana pada Tabel 4 berikut.

**Tabel 4** Ultimate Strength Aluminium 2024 T42 Ketebalan 0.5mm

[11]

Nominal Thickness of Thinner Sheet		Ultimate Strength <sup>a</sup>				Ultimate Strength <sup>b</sup>				Ultimate Strength <sup>b</sup>				Ultimate Strength <sup>d</sup>			
		56 000 psi and above lbf per Spot Weld		386 MPa and above N° per Spot Weld		35 000 psi to 55 999 psi lbf per Spot Weld		240 MPa to 385.9 MPa N° per Spot Weld		19 500 psi to 34 999 psi lbf per Spot Weld		135 MPa to 239.9 Mpa N° per Spot Weld		Below 19 500 psi lbf per Spot Weld		Below 135 MPa N° per Spot Weld	
in	mm	min.	avg.	min.	avg.	min.	avg.	min.	avg.	min.	avg.	min.	avg.	min.	avg.	min.	avg.
0.010	0.25	60	75	265	335	50	65	225	290	—	—	—	—	—	—	—	—
0.012	0.30	75	95	335	425	65	85	290	360	30	40	135	175	20	25	90	110
0.016	0.40	110	140	490	625	100	125	445	555	70	90	310	400	50	65	225	290
0.018	0.45	125	160	555	710	115	145	510	645	85	110	380	490	65	85	290	380
0.020	0.50	140	175	625	790	135	170	600	755	100	125	445	555	80	100	355	445
0.022	0.55	160	200	710	890	155	195	690	865	120	150	535	665	95	120	425	535
0.025	0.63	185	235	825	1045	175	200	780	890	145	185	645	825	110	140	490	625

Sehingga diperoleh nilai standar untuk kekuatan tarik minimum sebesar 140 lbf dan untuk rata-ratanya sebesar 175 lbf. Sedangkan dari pengujian kombinasi 1 dan 2 didapatkan hasil sebagai berikut.

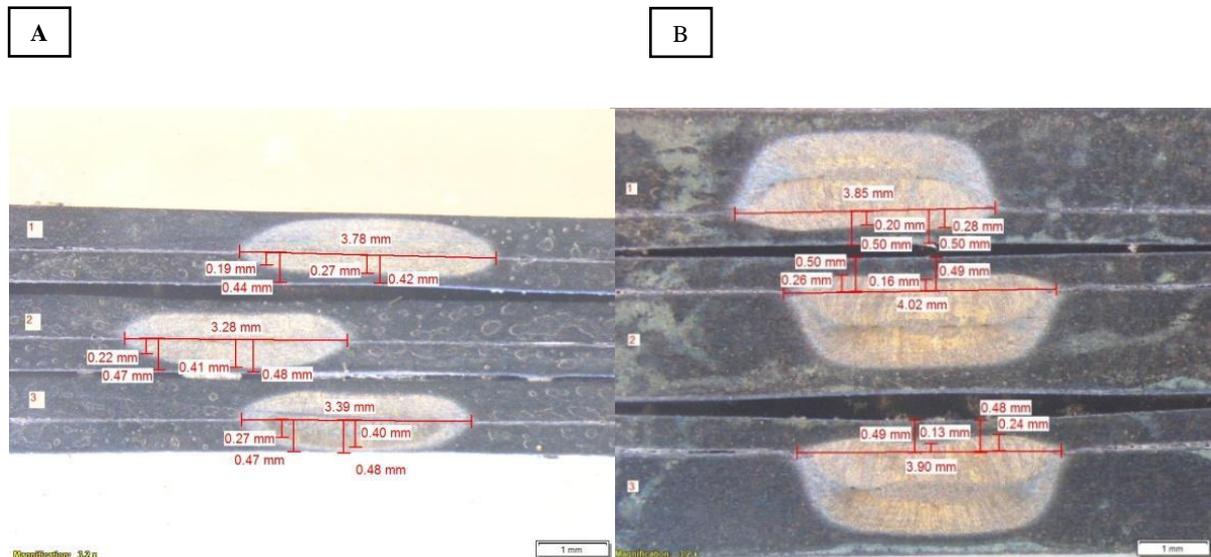
**Tabel 5** Perbandingan Kekuatan Tarik Spesimen Uji dengan Standar

NO	Nilai	Pembebanan Maksimum (lbf)		Standar
		# 0.5 + 0.6 mm	# 0.5 + 1.6 mm	
1	Rata-rata	281.53	340.78	175
	Minimum	268.80	313.65	140

Dengan melihat hasil pengujian tarik lalu dilakukan perbandingan dengan standar yang ada, maka dapat dikatakan nilai kekuatan tarik dari kedua kombinasi ketebalan dengan penggunaan parameter yang sama sudah melampaui standar minimum yang ada. Jadi, dari segi kekuatan tariknya pengelasan titik dengan menggunakan parameter dari kedua kombinasi ini sudah baik dan layak untuk selanjutnya diterapkan langsung pada *part* pesawat terbang.

### 3.2 Pembahasan Data Hasil Pengujian *Macrography*

Dalam pengamatan makro dengan menggunakan mikroskop dan dibantu *software*, diperoleh hasil foto sebagai berikut.



**Gambar 7** *Macrography* Weld Nugget Spesimen Uji

(A) Spesimen Uji # 0.5 + 0.6 mm, (B) Spesimen Uji # 0.5 + 1.6 mm

Dari hasil pengamatan maka dilakukan perhitungan, dan didapatkan data seperti yang tertera pada Tabel 6 dibawah ini.

**Tabel 6** Data Hasil Uji *Macrography* Spesimen Uji

NO.	Ø SPOT (mm)		Penetrasi (%)				Cacat
			# 0.5 + 0.6 mm		# 0.5 + 1.6 mm		
	# 0.5 + 0.6 mm	# 0.5 + 1.6 mm	MIN.	MAKS.	MIN.	MAKS.	
1	3.78	3.85	43.18	64.28	40.00	56.00	-
2	3.28	4.02	46.80	85.41	32.65	52.00	-
3	3.39	3.90	57.44	83.33	26.53	50.00	-

Untuk mengetahui kualitas pengelasan titik yang diaplikasikan pada kedua kombinasi yang sudah dilakukan pengujian, maka perlu ditinjau terlebih dahulu ukuran diameter minimum *nugget* yang dimiliki oleh spesimen uji dengan merujuk pada Tabel 7 berikut ini. Ukuran ketebalan terkecil yang dijadikan acuan dalam penentuan standar. Dimana pada kedua kombinasi yang diuji ketebalan terkecilnya adalah 0.5 mm, atau 0.020 pada satuan *inchi*. Maka akan didapatkan *Minimum Nugget Size* dari kombinasi yang ada. Seperti yang bisa dilihat pada Tabel 7 dibawah ini.

**Tabel 7** Minimum Nugget Size (D) Aluminium 2024 T42 Ketebalan 0.5mm [11]

Nominal Thickness of Thinner Sheet		Nugget Size (D <sub>n</sub> )	
in	mm	in	mm
0.001	0.03	0.010	0.25
0.002	0.05	0.015	0.38
0.003	0.08	0.020	0.50
0.004	0.10	0.030	0.76
0.005	0.12	0.035	0.89
0.006	0.16	0.040	1.02
0.007	0.18	0.045	1.14
0.008	0.20	0.050	1.27
0.010	0.25	0.060	1.52
0.012	0.30	0.070	1.78
0.016	0.40	0.085	2.16
0.018	0.45	0.090	2.29
0.020	0.50	0.100	2.54
0.022	0.55	0.105	2.68
0.025	0.65	0.120	3.05
0.028	0.70	0.130	3.30

Sehingga diperoleh nilai standart untuk diameter *nugget* ( $\emptyset$  SPOT) sebesar 2.54 mm atau 0.100 in. Sedangkan dari pengujian kombinasi 1 dan 2 didapatkan hasil sebagai berikut.

**Tabel 8** Perbandingan  $\emptyset$  SPOT dan Penetrasi Minimum Spesimen dengan Standar

N O		Kombinasi		Standar (mm)
		# 0.5 + 0.6 mm	# 0.5 + 1.6 mm	
1	$\emptyset$ SPOT (mm)	3.28 ÷ 3.78	3.85 ÷ 4.02	2.54
2	Penetrasi (%)	43.18 ÷ 85.41	26.00 ÷ 56.00	20.00 ÷ 80.00

Dengan melihat hasil pengujian *macrography* lalu dilakukan perbandingan dengan standar yang ada, maka dapat dikatakan harga diameter *nugget* ( $\emptyset$  SPOT) dari kedua kombinasi sudah melampaui standar minimum yang ada untuk jenis material dan dengan ketebalan tersebut. Jadi, dari segi diameter *nugget* ( $\emptyset$  SPOT), penerapan parameter pengelasan titik yang sama pada kedua kombinasi ini sudah baik dan layak diaplikasikan pada part secara langsung.

Sedangkan apabila ditinjau dari segi presentase penetrasi pengelasan, pengelasan titik dengan menggunakan parameter dari kedua kombinasi ini kurang baik pada kombinasi ketebalan 0.5 + 0.6 mm. Karena masih didapati nilai penetrasi yang melampaui batas maksimum. Faktor parameter yang kurang tepat dapat menjadi alasan mengapa pengelasan ini bisa menghasilkan diameter spot yang sudah baik akan tetapi memiliki presentase penetrasi yang kurang baik.

Faktor yang dapat mengakibatkan penetrasi berlebihan adalah factor arus masuk atau gaya penekanan pengelasan berlebih yang diberikan pada saat melakukan penekanan elektroda. Gaya yang terlalu besar meskipun sudah dengan waktu pengelasan yang tepat, masih saja mampu meningkatkan luas permukaan elektroda yang menyentuh penampang pengelasan pada spesimen uji. Begitu juga masuknya arus berlebih akan meningkatkan *heat input* sehingga mampu menimbulkan leleh pada *nugget* yang berlebihan. Sehingga spesimen uji memiliki presentase penetrasi yang melampaui standar yang ada. Faktor kesalahan operator juga dapat memicu hal ini. Kesalahan operator pada saat memposisikan spesimen diantara elektroda saat akan melakukan pengelasan tersebut. Yang seharusnya posisi plat

dengan ketebalan lebih besar yang mengenai elektroda atau pada posisi atas ini terbalik. Sehingga plat yang memiliki ketebalan lebih kecil yang menerima gaya lebih besar sehingga tingkat penetrasinya menjadi berlebih.

Demi keamanan penerbangan maka perlu dilakukan penyesuaian ulang parameter pengelasan dan diikuti pembuatan ulang spesimen uji sebelum diaplikasikan langsung pada part dan selanjutnya dilakukan pengujian ulang sampai mendapat hasil yang sudah sesuai dengan standar yang digunakan.

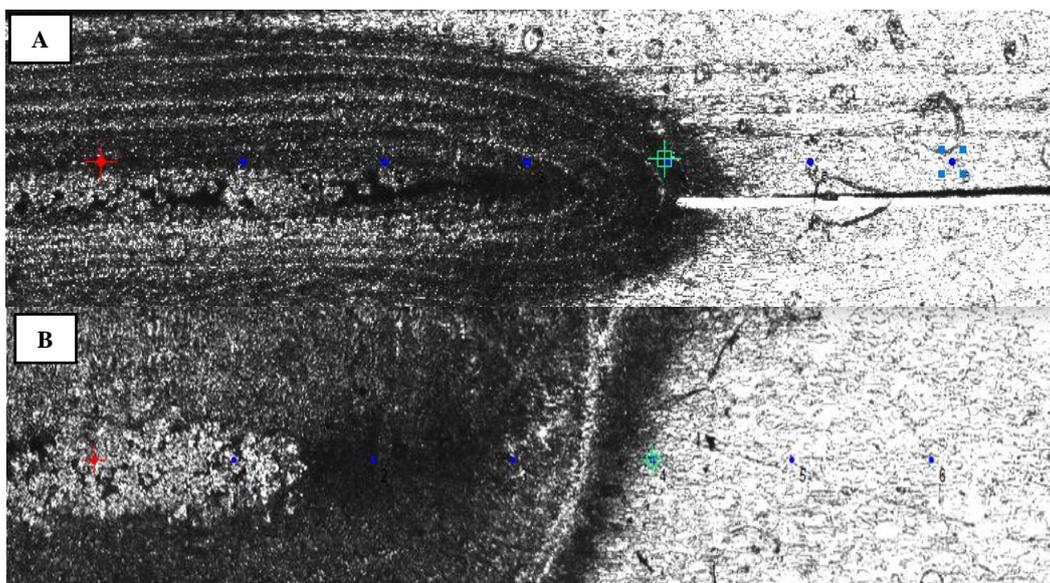
### 3.2 Pembahasan Data Hasil Pengujian *Micro Hardness*

Teknik penyambungan material dengan metode pengelasan adalah salah satu metode yang dihindari dalam industri. Efek samping dari pengelasan terhadap sifat mekanis material salah satunya adalah dalam hal penurunan kekuatan (kekerasan) dari bagian yang menerima panas dari pengelasan. Sesuai dengan Tabel 9 berikut ini yang berisikan hasil pengujian kekerasan mikro (*micro hardness*) menggunakan metode *Vickers* sebagai berikut.

**Tabel 9** Data Hasil Uji *Micro Hardness*

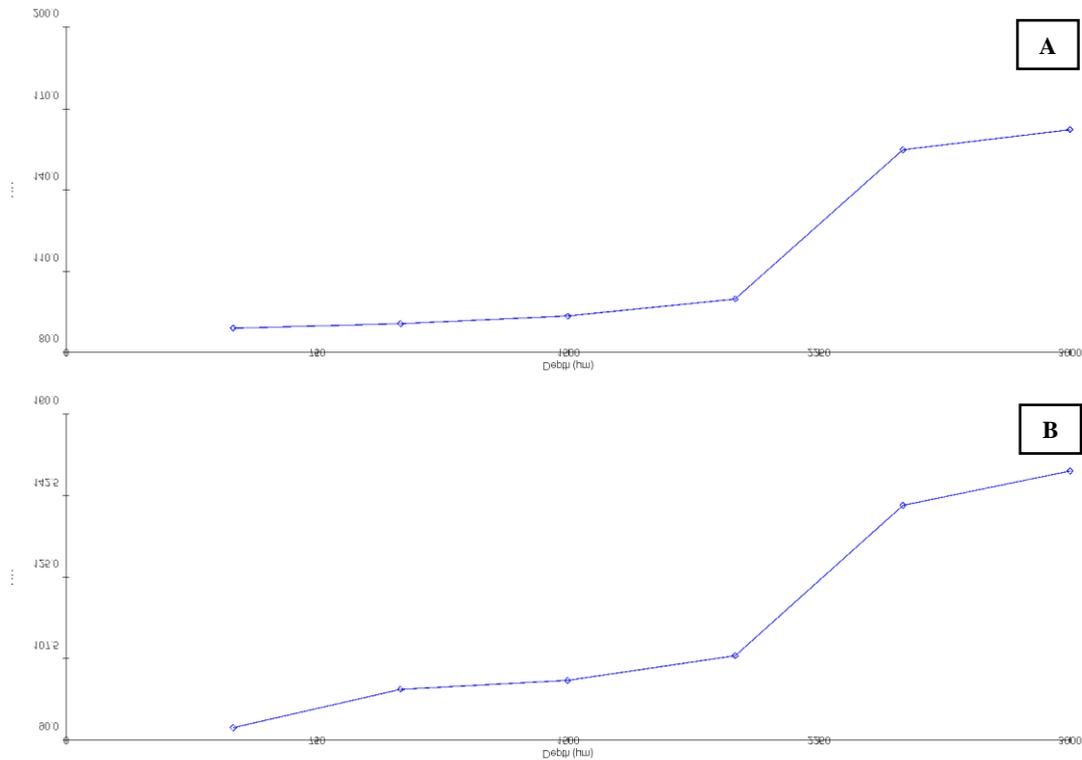
TITIK iNDENTASI	# 0.5+0.6mm	# 0.5+1.6mm
	HV ( $\mu\text{m}$ )	HV ( $\mu\text{m}$ )
1	89	88
2	90	91
3	93	109
4	100	129
5	155	135
6	162	138

Berikut merupakan tampilan mikro spesimen uji pada saat dilakukannya indentasi pengujian kekerasan.



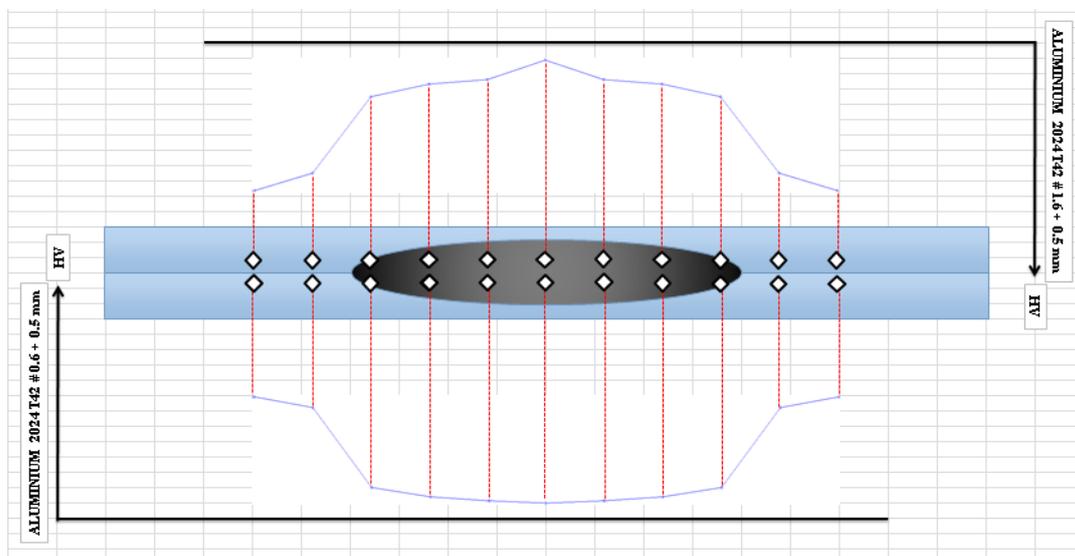
**Gambar 8** Skema Pengindentasian Uji *Micro Hardness*  
(A) Spesimen Uji # 0.5 + 0.6 mm, (B) Spesimen Uji # 0.5 + 1.6 mm

Didapatkan grafik hasil pengujian sebagai berikut.



**Gambar 9** Grafik Hasil Uji *Micro Hardness*  
(A) Spesimen Uji # 0.5 + 0.6 mm, (B) Spesimen Uji # 0.5 + 1.6 mm

Hasil uji menyatakan bahwa terjadi penurunan nilai kekerasan pada bagian *nugget*, yang merupakan bagian yang terkena efek panas dari pengelasan. Faktor yang mempengaruhi penurunan kekerasan pada bagian *nugget* ini adalah akibat adanya perubahan struktur mikro yang disebabkan adanya panas yang membentuk bagian sambungan las saja. Sehingga terdapat perbedaan nilai kekerasan disepanjang bagian spesimen uji. Semakin menjauhi spot pengelasan (*nugget*), maka akan semakin besar pula nilai kekerasannya. Hal tersebut dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



**Gambar 10** Grafik Distribusi Nilai Kekerasan

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian tersebut diperoleh kesimpulan bahwa penilaian kelayakan pengelasan dengan parameter yang sama pada kombinasi ketebalan plat bervariasi tidak dapat ditentukan dengan hanya dengan meninjau hasil pengujian tarik saja. Pentingnya dilakukan pengujian penunjang untuk mendapatkan hasil yang lebih baik demi keamanan. Kegagalan sambungan pengelasan dapat terjadi karena berbagai faktor, sehingga dengan menambahkan pengujian *Macrography* dan *Micro Hardness* pada penelitian ini dirasa sudah memberikan hasil yang cukup baik untuk menilai bahwa proses pengerjaan dan hasil sudah layak diterapkan.

Dengan menggunakan dua variasi ketebalan dan hanya dengan satu jenis susunan parameter didapatkan hasil uji tarik yang melampaui nilai standar. Nilai kekerasan pada bagian *weld nugget* yang cenderung menurun dari nilai kekerasan logam induk, akan tetapi penurunan masih dalam batas wajar sehingga masih aman dalam pengaplikasian berikutnya. Akan tetapi terdapat hasil yang diluar standar yaitu nilai penetrasi untuk kombinasi ketebalan yang lebih tipis, yaitu kombinasi 0.5 + 0.6 mm. Nilai penetrasi yang berlebih ini diduga karena faktor dari beberapa parameter pengelasan yang kurang sesuai dengan ketebalan plat. Faktor gaya penekanan atau arus yang berlebih disebut mampu memperluas area penetrasi pada saat proses penekanan. Sehingga didapatkan hasil pengelasan dengan nilai penetrasi berlebih. Hal ini yang mampu berpotensi memicu kegagalan pada sambungan las.

#### Referensi

- [1] H. Wiryosumarto and T. Okumura, *Teknologi Pengelasan Logam*, VIII. Jakarta: PT Pradnya Paramita, 2000.
- [2] C. Summerville, P. Compston, and M. Doolan, "A Comparison of Resistance Spot Weld Quality Assessment Techniques," *Procedia Manuf.*, vol. 29, pp. 305–312, 2019, doi: 10.1016/j.promfg.2019.02.142.
- [3] U. Esme and A. Cakmak, "The Effect of Electrode Shape and Force on The Contact Resistance of Spot Welded Joints," pp. 1–5, 2017.
- [4] R. Moharrami and B. Hemmati, "Numerical Stress Analysis in Resistance Spot-Welded Nugget Due to Post-Weld Shear Loading," *J. Manuf. Process.*, vol. 27, pp. 284–290, 2017, doi: 10.1016/j.jmapro.2017.05.007.
- [5] H. T. Sun, X. M. Lai, Y. S. Zhang, and J. Shen, "Effect of Variable Electrode Force on Weld Quality in Resistance Spot Welding," *Sci. Technol. Weld. Join.*, vol. 12, no. 8, pp. 718–724, 2007, doi: 10.1179/174329307X251862.
- [6] K. Zhou and L. Cai, "Study on Effect of Electrode Force on Resistance Spot Welding Process," *J. Appl. Phys.*, vol. 116, no. 8, 2014, doi: 10.1063/1.4893968.
- [7] H. Zhang, X. Qiu, Y. Bai, F. Xing, H. Yu, and Y. Shi, "Resistance Spot Welding Macro Characteristics of The Dissimilar Thickness Dual Phase Steels," *Mater. Des.*, vol. 63, pp. 151–158, 2014, doi: 10.1016/j.matdes.2014.05.060.
- [8] D. Carle and G. B. U, "The Suitability of Aluminium As An Alternative Material For Car Bodies," pp. 267–272, 1999.
- [9] H. Zhang, X. Qiu, F. Xing, J. Bai, and J. Chen, "Failure Analysis of Dissimilar Thickness Resistance Spot Welded Joints in Dual-Phase Steels During Tensile Shear Test," *Mater. Des.*, vol. 55, pp. 366–372, 2014, doi: 10.1016/j.matdes.2013.09.040.
- [10] SAE International, "Aerospace Material Specification (AMS-QQ-A-250/5)," 2017.
- [11] American Welding Society, "Spesification for Resistance Welding for Aerospace Applications (AWS D17.2-D17.2M3:2019)." 2019.