

## Pengaruh Variasi Putaran Tools Terhadap Kekuatan Tarik Dan Kekuatan Lengkung (Bending) Sambungan FSW Butt-Joint Pada Almunium Paduan

Fransisko Ready Usman <sup>\*</sup>, Wartono<sup>2</sup>, Didit Setyo Pamuji<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional  
Yogyakarta

Jl. Babarsari, Caturtunggal, Depok, Sleman, Yogyakarta 55281

\*Corresponding author: [wartono@itny.ac.id](mailto:wartono@itny.ac.id)

### Abstract

*Friction Stir Welding (FSW) is a method of joining metal by friction, which in the connection process does not require fillers or added materials. This study aims to let the author and readers know the effect of RPM variations in Friction stir welding (FSW) on 6061 series aluminium alloy materials on mechanical properties (tensile strength and bending resistance), and microstructure. Position the tool as close to the specimen as possible. The position of the tools should not pass through the outermost side because it will eliminate the downward from the shoulder tools. From the results of the composition test there are differences in the HAZ, WELD METAL, TMAZ sections. The difference is in the form of black patterns and different putting, the dominant round grain is much in the WELD METAL section compared to HAZ and TMAZ, Based on the results of the microstructure it can be concluded that changes in the microstructure affect the ductility of the welding area, The results of the Tensile test at 1500 rpm have a good average value compared to 910 rpm and 2200 rpm, which is lifted 174.0 MPa then in second place 910 rpm at 150.0 MPa and 2200 rpm at 90.4 MPa, Bending test results show that the average result of the 2200 rpm rotation variation has a high number of 317 MPa then followed by a 910 rpm rotation variation with a number of 302 MPa and finally 1500 rpm 268 MPa.*

**Keywords:** *Friction Stir Welding, Tensile, Bending, Round Tools, Microstructure.*

### Abstrak

Friction Stir Welding (FSW) adalah sebuah metode penyambungan logam dengan gesekan, yang pada proses penyambungannya tidak memerlukan bahan pengisi atau bahan tambah. Penelitian ini bertujuan agar penulis dan pembaca mengetahui pengaruh variasi RPM pengelasan Friction stir welding (FSW) pada bahan aluminium paduan seri 6061 terhadap sifat mekanik (kekuatan Tarik dan ketahanan bending), struktur mikro. Memosisikan tool sedekat mungkin dengan spesimen. Posisi tools jangan sampai melewati sisi terluar karena akan menghilangkan downward dari shoulder tools. Dari hasil pengujian uji komposisi terdapat perbedaan di bagian HAZ, WELD METAL, TMAZ. Perbedaan tersebut berupa corak berwarna hitam dan putting yang berbeda beda, bulir bulatan yang dominan banyak dibagian WELD METAL di bandingkan dengan HAZ dan TMAZ, Berdasarkan hasil struktur mikro dapat disimpulkan bahwa perubahan struktur mikro mempengaruhi keuletan daerah pengelasan, Hasil pengujian Tarik pada rpm 1500 mempunyai nilai rata-rata yang baik di bandingkan dengan 910 rpm dan 2200 rpm yaitu di angkat 174,0 MPa lalu di urutan kedua 910 rpm di angka 150,0 MPa dan 2200 rpm di angka 90,4 MPa, Hasil pengujian Bending menunjukkan

bahwa hasil rata-rata dari variasi putaran 2200 rpm mempunyai angka yang tinggi yaitu 317 MPa lalu di ikuti dengan variasi putaran 910 rpm dengan angka 302 MPa dan terakhir 1500 rpm 268 MPa.

**Kata kunci:** Friction Stir Welding, Tarik, Bending, Putaran Tools, Struktur mikro.

---

## PENDAHULUAN

Friction Stir Welding (FSW) adalah sebuah metode penyambungan logam dengan gesekan, yang pada proses penyambungannya tidak memerlukan bahan pengisi atau bahan tambah. Benda kerja mendapat pengaruh panas yang dihasilkan dari gesekan antara benda yang berputar (Pin) dengan benda yang diam (benda kerja). Metode FSW ditemukan oleh W. Thomas dan rekannya dari The Welding Institut (TWI), Cambridge pada tahun 1991. Metode ini banyak digunakan agar karakteristik logam induk tidak banyak berubah. Metode ini banyak memiliki kelebihan dibandingkan pengelasan busur pada umumnya. Kelebihan dari pengelasan ini yaitu tingkat distorsi yang rendah, tidak memerlukan logam pengisi, tidak menghasilkan asap dan tidak memerlukan gas pelindung.

Tool sendiri merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kualitas pengelasan sehingga pemilihan tool harus tepat. Bahan tool, diameter dan profil pin, diameter dan panjang pin perlu diperhatikan secara seksama. Bahan tool harus memiliki titik lebur yang lebih tinggi dari material benda kerja agar pada saat proses pengelasan tidak ikut meleleh. Profil pin tools sebenarnya mempengaruhi struktur mikro pada setiap area atau zone pengelasan untuk setiap penggunaan bentuk pin yang berbeda. Tool dengan profil bentuk pin yang berbeda itu dapat memberikan hasil yang berbeda juga dari segi struktur mikro dan sifat mekanik. Paduan aluminium dibagi menjadi dua kelas sesuai dengan cara pembuatannya yaitu tempa dan cor. Kategori tempa adalah yang paling luas karena paduan aluminium dapat dibentuk oleh hampir semua proses yang diketahui termasuk penggulangan, pengekuksi, penggambaran, penempaan dan sejumlah proses yang lainnya yang lebih khusus. Cor paduan adalah yang dituangkan dalam cetakan pasir (pencetakan pasir) atau pencetakan baja berkekuatan tinggi (cetakan permanen atau die casting) dan dibiarkan mengeras untuk menghasilkan bentuk seperti yang diinginkan.

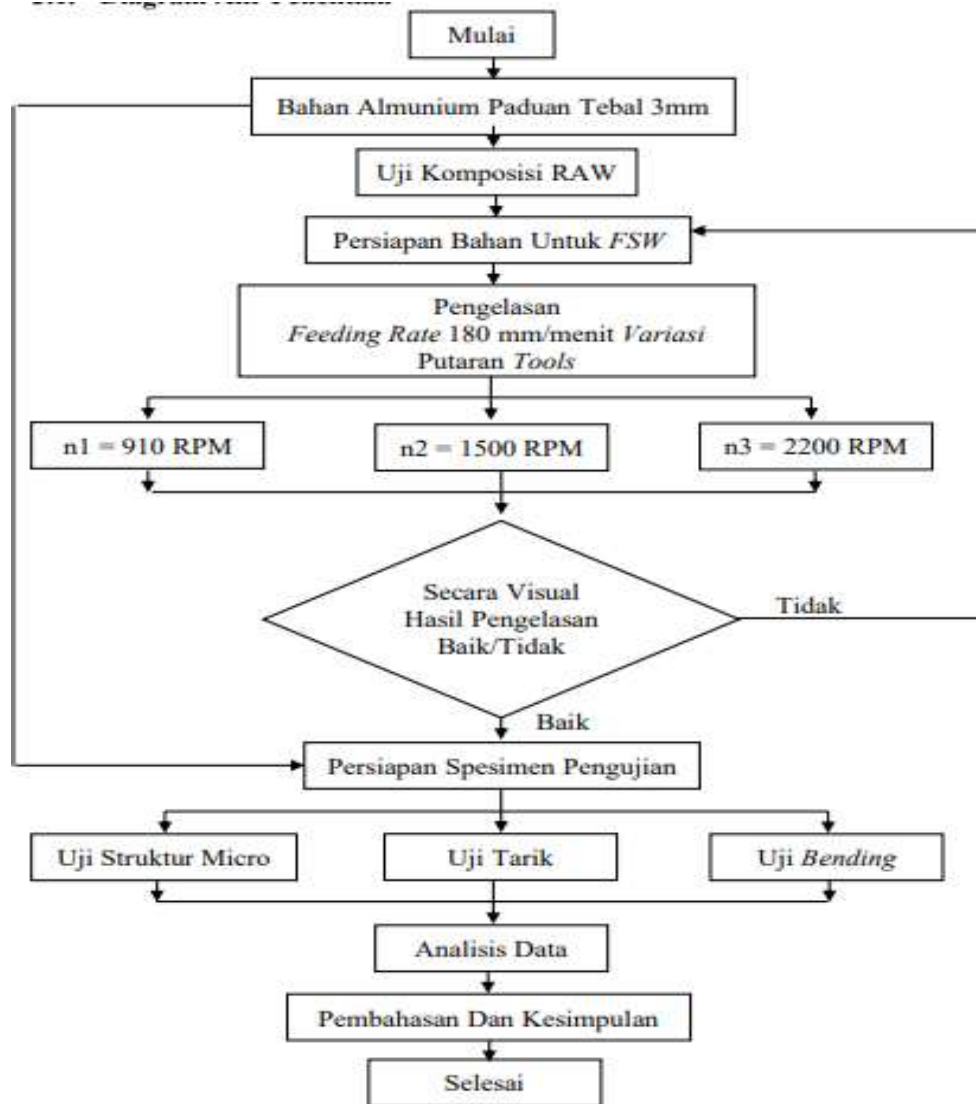
Komposisi paduan cor dan tempa itu berbeda, menurut Ilangovan dkk (2016) sedang meneliti pengaruh profil pin pada struktur mikro dan kekuatan Tarik pengelasan FSW pada paduan aluminium AA 6061 dan AA 5086, variasi profil pin silindris dengan dimensi diameter solder 18 mm, diameter pin 6mm dan Panjang pin 6mm dan tirus diameter soulder 18mm, diameter pangkal pin 6 mm dan ujung pin 5mm, dan Panjang pin 6 mm. Lalu pengujian yang mereka lakukan adalah uji Tarik, uji kekerasan microhardness pengamatan secara makro dan mikro. Hasil penelitian menunjukkan kekuatan Tarik tertinggi pada profil pin silinder ulir yaitu 169 MPa, untuk nilai hasil pengujian kekerasan tertinggi adalah pengelasan dengan profil pin silinder ulir sebesar 83 HV.

Berdasarkan uraian di atas, diketahui bahwa profil pin tool mampu mempengaruhi struktur mikro dan sifat mekanik dari hasil pengelasan, pengkajian terhadap FSW masih sangat luas cangkupannya. Ilmu yang bisa digali masih sangat banyak dan beragam untuk menjelaskan FSW, baik dari sisi kekerasan tool, profil pin tool, bahan yang digunakan, kecepatan pemakanan dan kecepatan putar. Untuk itu penelitian tentang pengaruh putaran tool pada pengelasan FSW ini dilakukan, dengan harapan dapat memberikan informasi baru tentang FSW dengan variasi putaran tool.

Penelitian ini bertujuan agar penulis dan pembaca mengetahui pengaruh variasi RPM pengelasan Friction stir welding (FSW) pada bahan aluminium paduan seri 6061 terhadap sifat mekanik (kekuatan Tarik dan ketahanan bending), struktur mikro. Paduan aluminium, umumnya dibagi menjadi dua kategori yaitu tidak dapat diproses perlakuan panas (non heat treatable). Dan yang dapat diproses perlakuan panas (heat-treatable). Paduan yang dapat diproses perlakuan panas (non heat treatable) adalah yang menurunkan menurunkan kekuatannya dari efek penguatan elemen seperti mangan, besi, silikon, dan magnesium, selanjutnya diperkuat oleh 11 penguatan regangan.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan bahan aluminium 6061 dengan ukuran 300 x 200 x 3 mm. Mesin yang digunakan yaitu mesin milling dengan feed rate 180 mm/menit dan variasi putaran tools 910 rpm, 1500 rpm, 2200 rpm. Proses Friction Stir Welding (FSW) menggunakan pin tool dengan desain pin yang menyatu dengan pin tool dan sudut kemiringan dua derajat. Desain tools mesin tersebut adalah panjang 115 mm, diameter 20 mm, dan tinggi pin 2,7 mm.



**Gambar 1.** Diagram Alir Penelitian

Ada beberapa alat dan bahan yang digunakan untuk penelitian ini adalah ;

#### **Bahan**

- Almunium Paduan (Plat Strip) untuk pengelasan berukuran 300 mm x 100 mm x 3 mm.
- Backing Plat.
- Tools dengan bahan Stainless Steel.
- Ampelas.
- Autosol.
- Kunci Pas.

#### **Alat Penelitian**

Ada beberapa alat yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu :

- Mesin potong/cutter milik Laboraturium manufaktur ITNY. Merk Makita dan Type 24168.
- Mesin Frais untuk meratakan pinggir benda kerja yang akan dilas milik Laboraturium manufaktur ITNY.
- Mesin Milling NC untuk pengelasan FSW milik IST AKPRIND Yogyakarta merk Aciera.
- Mesin Grinding ball (Mesin Gerinda).
- Landasan berbahan baja (Backing Plate).
- Tools Berbahan Stainless Stell.
- Gergaji besi untuk membuat spesimen pengujian.
- Penggaris besi dan penggores.
- Alat uji komposisi milik POLMAN Ceper Klaten Merk Bruker.
- Mesin pengamplas milik Laboraturium Material Teknik ITNY.
- Alat uji struktur mikro, Uji Tarik dan Uji Tekan/Bending milik Laboraturium pengujian Bahan Teknik Mesin D-III UGM Yogyakarta.

#### **Persiapan Spesimen Pengujian**

Setelah dilakukan proses pengelasan Friction stir welding pada bahan, benda uji dan didapat hasil pengelasan yang baik, setelah ini prosesnya adalah persiapan spesimen pengujian. Berikut ini persiapan pengujian berdasarkan pengujiannya :

#### **Spesimen uji struktur mikro**

Pengujian struktur mikro yaitu 100 mm X 10 mm X 3 mm. Setiap benda uji variasi kecepatan Feeding masing masing dipotong 2 spesimen. Lalu pemotongan spesimen ini dipotong menggunakan gergaji tangan. Lalu pada bagian samping dan tepi diratakan atau dihaluskan menggunakan amplas.

1. Daerah Weld Metal.
2. TMAZ.
3. HAZ Kasar.
4. HAZ Halus.
5. RAW Material

#### **Pengujian Komposisi**

Pengujian ini dilakukan di POLMAN Ceper Klaten. Pengujian dilakukan sebelum mengalami proses pengelasan. Pengujian komposisi bertujuan untuk mengetahui seri paduan aluminium paduan yang nantinya akan digunakan untuk menentukan bahan dari tools yang nantinya akan digunakan dalam proses pengelasan friction stir welding.

## Pengujian Struktur Mikro

Pengujian dari pengujian ini adalah untuk mengetahui susunan struktur mikro penyusunan material akibat pengaruh pengelasan. Kemudian dilakukan pengamatan dalam mikroskop dengan pembesaran 100 kali kemudian difoto. Foto diambil dari spesimen variasi gerak feeding. Pada pengujian struktur mikro foto diambil pada bagian Base metal, TMAZ, HAZ dan Weld Metal. Setelah di foto hasil yang didapatkan ada 24 foto (1 spesimen 12 foto).

## Pengujian Tarik

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai kekuatan Tarik dari suatu bahan yang akan diuji. Metode pengujian yang dilakukan adalah pengujian Tarik. Pengujian ini dilakukan di laboratorium D-III UGM Teknik Mesin UGM Yogyakarta.

## Pengujian Tekan (Bending)

Pengujian ini merupakan salah satu bentuk pengujian untuk menentukan mutu suatu material secara visual. Selain itu uji bending atau uji tekan ini digunakan untuk mengukur kekuatan material akibat pembebanan dan kekenyalan dari spesimen. Pengujian ini dilakukan di laboratorium D-III UGM Teknik Mesin UGM Yogyakarta.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Uji Komposisi Raw Material

Uji komposisi ini dilakukan hanya pada bahan yang digunakan dalam penelitian agar dapat mengetahui presentase unsur dalam rangkaian aluminium 6061. diketahui bahwa komposisi pada aluminium (Al) paduan yang digunakan dalam penelitian ini adalah 98,88%. Selain aluminium, unsur magnesium (mg) mendominasi sebesar 0,294%, Silicon (Si) sebesar 0,268% dan tembaga (Cu) sebesar 0,205%. Hasil ini jauh dari pengujian asli aluminium alloy 6061 yang seharusnya aluminium (Al) adalah 95,85% - 98,56%, magnesium (Mg) adalah 0,80% - 1,20%, Silicon (Si) adalah 0,40% - 0,80% dan tembaga adalah 0,15% - 0,40%. Sebelum dilakukan pengelasan, bahan aluminium 6061 di frais terlebih dahulu sebelum melakukan pengelasan. Frais dilakukan tepat pada 2 bagian yaitu kiri dan kanan pada plat yang akan dilas, berikut adalah bahan aluminium sebelum dilakukan pengelasan. plat yang telah dilakukan frais pada bagian kiri dan kanan dan telah di nyatakan siap untuk dilas. Proses pengelasan dilakukan dilab yang menyediakan mesin untuk pengelasan, mesin yang digunakan adalah mesin CNC.

### Pengamatan Visual Setelah Pengelasan Dengan Putaran 910 rpm.



**Gambar 2.** Hasil Pengelasan FSW dengan Putaran 910 rpm dan feed rate 180 mm/menit tampak atas dan bawah.

Pada putaran 910 rpm pengelasan mengalami cacat pada bagian belakang dikarenakan pin Tools sudah habis dipakai pada putaran 1500 rpm dan 2200 rpm kedalaman pin tools tidak terlalu dalam, semakin tinggi putaran maka akan semakin tinggi Heat input yang dihasilkan



dan itu akan mengakibatkan kemungkinan cacat yang lebih kecil, sehingga dilakukan pengelasan ulang pada putaran 910 rpm.

#### **Pengamatan Visual Setelah Pengelasan Dengan Putaran 1500 rpm**



**Gambar 3.** Hasil Pengelasan FSW dengan Putaran 1500 rpm dan feed rate 180 mm/menit tampak atas dan bawah.

Jika dilihat tampak bagian atas sedikit kasar karena pada awal saat proses pengelasan pin ditekan agak dalam dan di atur X dan Y sehingga tampak bagian atas sudah mulai sedikit halus sampai proses pengelasan selesai. Lalu pada hasil pengelasan FSW dengan putaran yang sama yaitu 1500 rpm tampak pada bagian atas tidak mengalami cacat atau gagal las, sehingga proses pengelasan berjalan dengan sempurna sampai selesai. Sebutkan hasil utama dari penelitian. Kesimpulan ditulis dalam bentuk paragraf, bukan point per point. Isi kesimpulan menyebutkan dengan jelas dan ringkas hasil utama penelitian, serta rekomendasi untuk penelitian lanjutan. Hindari pengulangan penjelasan yang terlalu mendetail.

#### **Pengamatan Visual Setelah Pengelasan Dengan Putaran 2200 rpm**



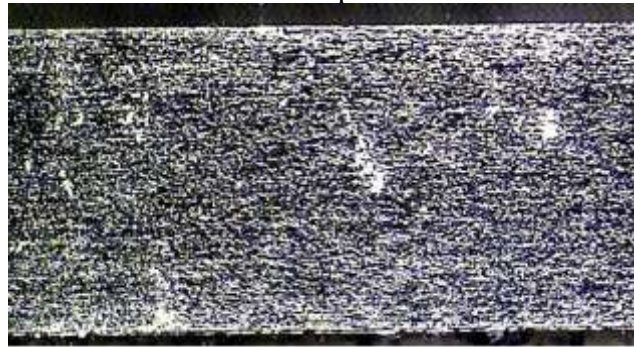
**Gambar 4.** Hasil Pengelasan FSW dengan Putaran 2200 rpm dan feed rate 180 mm/menit tampak atas dan bawah.

Pengelasan FSW aluminium seri 6061 pada penelitian ini menggunakan FeedRate 180 mm/menit dengan variasi putaran Tools (910, 1500, 2200) rpm, tebal plat 3 mm, lebar 200 mm dan panjang plat 300 mm. Pada gambar 4.7 terlihat pada bagian bawahnya kelihatan sangat mulus pada hasil pengelasan ini disebabkan karena penekanan pada pin tidak maksimal atau kurang akan tetapi hasil dari pengelasan ini tidak mengalami cacat.

#### **Pengujian Struktur Mikro**

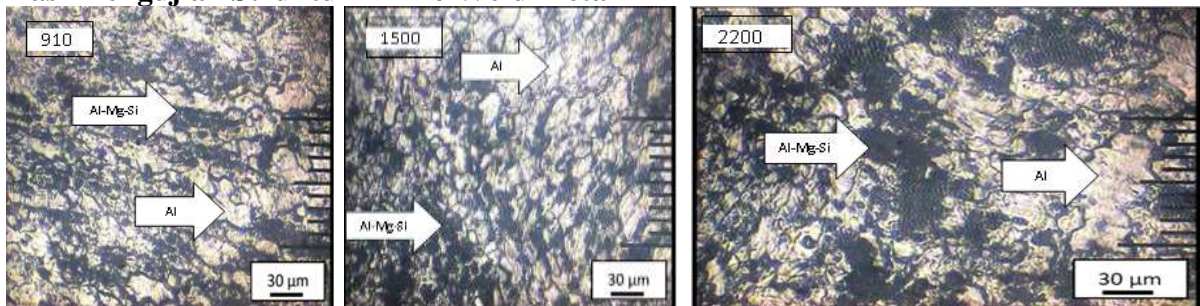
Untuk mengetahui perubahan struktur mikro yang terjadi akibat proses pengelasan dilakukan pengamatan struktur mikro dengan metode Friction Stirwelding (FSW) yaitu pada area Weld metal, TMAZ, HAZ, Dan Base metal. Pengujian struktur mikro dilakukan dengan cara tertentu yaitu, Mengambil foto mikroskop optik dengan diperbesar 100x untuk mengetahui perubahan struktur akibat Friction stir welding (FSW) material aluminium seri 6061 dan

kecepatan gerak (feed rate) yaitu  $V1 = 180$  mm/menit didaerah Weld metal, TMAZ, HAZ Dan Base Metal Berubah bentuk dan ukuran setelah proses Friction Stir Welding (FSW).



**Gambar 5.** Foto Makro Pembesaran lensa 30x (Raw Material).

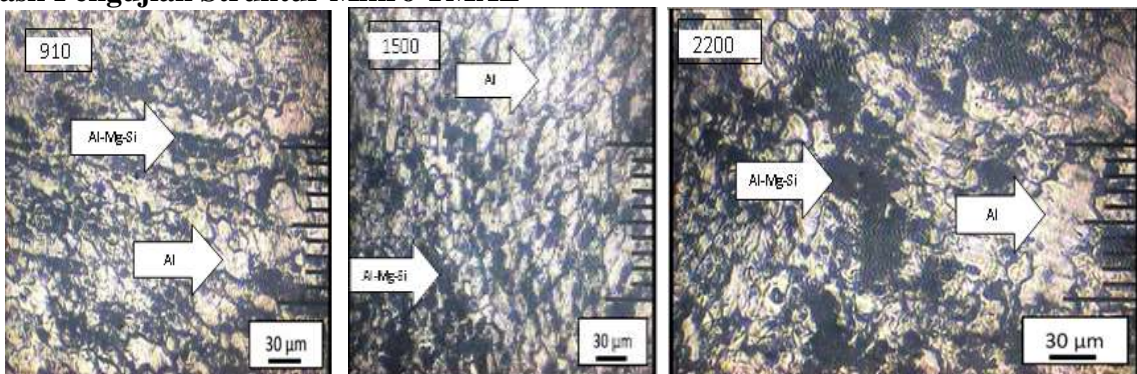
### Hasil Pengujian Struktur Mikro Weld Metal



**Gambar 6.** Struktur Mikro TMAZ Putaran (910, 1500 dan 2200 rpm) Pembesaran 100x.

Struktur mikro didaerah TMAZ Didominasi oleh struktur Feritte dan perlit dengan ukuran butir yang semakin kecil yang berjumlah banyak, putaran 1500 rpm dan 2200 rpm terdapat gumpulan butir warna hitam (Al-Mg-Si) yang berjumlah banyak. Daerah TMAZ merupakan daerah transisi antara material dasar dan logam las (Weld Metal), dimana daerah ini terjadi deformasi plastis akibat putaran tool dan dari pengaruh panas pada waktu proses pengelasan FSW.

### Hasil Pengujian Struktur Mikro TMAZ

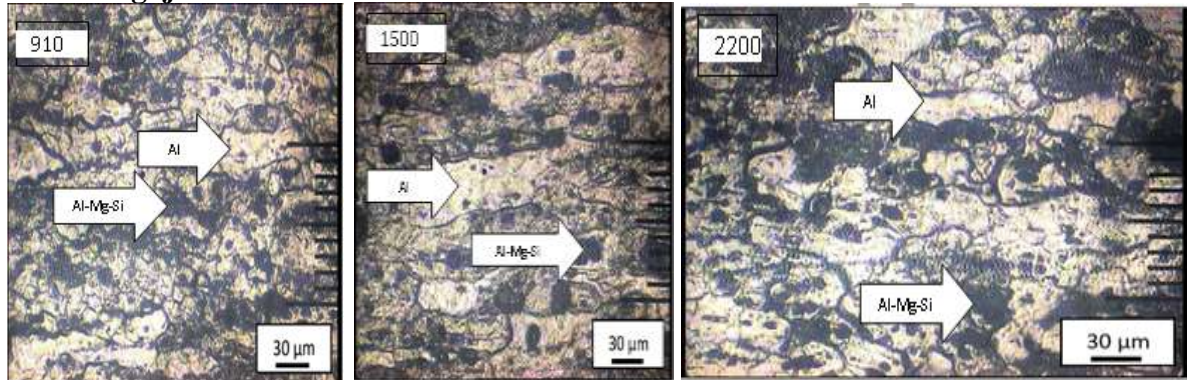


**Gambar 7.** Struktur Mikro TMAZ Putaran (910, 1500, dan 2200 rpm )Perbesaran 100x.

Pada struktur mikro didaerah TMAZ di dominasi oleh struktur Feritte dan perlit dengan ukuran butir yang semakin kecil yang berjumlah banyak, putaran 1500 rpm dan 2200 rpm terdapat gumpulan butir warna hitam (Al-Mg-Si) yang berjumlah banyak. Daerah TMAZ merupakan daerah transisi antara material dasar dan logam las (Weld Metal), dimana daerah ini terjadi deformasi plastis akibat putaran tool dan dari pengaruh panas pada waktu proses pengelasan FSW.



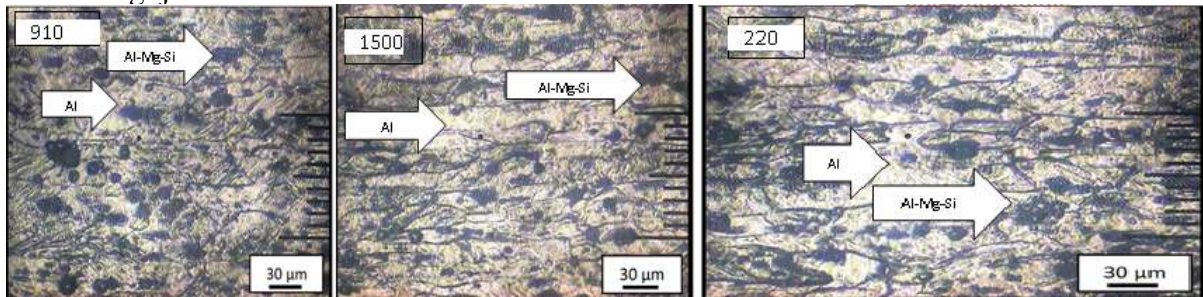
### Hasil Pengujian Struktur Mikro HAZ



**Gambar 8.** Struktur HAZ (910, 1500, dan 2200 rpm) Pembesaran 100x.

Daerah HAZ variasi 180 mm/menit mempunyai bentuk butiran yang mengalami perubahan cenderung menjadi besar. Pada putaran 2200 rpm lebih dominan kebutiran berwarna hitam (Al-Mg-Si) dan berbentuk butiran sangat halus pada daerah logam induk. Dengan butiran rata-rata 10 µm. Kristal berbentuk equiaxed.

### Hasil Pengujian Struktur Mikro Base Metal



**Gambar 9.** Struktur Mikro Base Metal (910, 1500 dan 2200 rpm) Pembesaran 100x.

Hasil struktur mikro menunjukkan ukuran butir pada daerah Base Metal, akan berpengaruh terhadap kekuatan dan semakin besar ukuran butir maka tingkatan kekerasan akan meningkat. Hal ini disebabkan karena ukuran butir pada Base Metal sangat besar dan mempunyai butir yang banyak, sehingga batas butir ini menghambat gerakan dislokasi. Daerah lasan memiliki nilai kekerasan lebih tinggi dibandingkan pada daerah HAZ.

Base Metal adalah bagian logam dasar dimana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan struktur maupun sifat pada logam tersebut. Material dari Base Metal adalah aluminium seri 6061 yang terdiri dari paduan aluminium magnesium ditambah Silicon (Al-Mg-Si), Sehingga hasil uji foto mikro juga menunjukkan adanya batas-batas grain boundaries senyawa magnesium silida  $Mg_2Si$  pada daerah gelap dan Al pada daerah yang terang. (Eko Kristianto. 2017).

### Hasil uji Tarik

Hasil uji Tarik dilakukan di laboratorium Teknik Universitas Gadjah Mada, dengan dimensi uji tarik menggunakan standart ASTM – E8. Tegangan tarik dapat dihitung dengan membagi beban yang terjadi dibagi dengan luas penampang mula- mula, rengangan yang terjadi dapat dihitung menggunakan persamaan (1) dengan panjang benda uji saat patah dan dikurangkan dengan panjang benda mula-mula dikalikan dengan 100%.





**Gambar 10.** Hasil pengujian Tarik dari 910 RPM, 1500 RPM dan 2200 RPMIH (jika diperlukan)

**Tabel 1.** Hasil Uji Tarik

No.	Varian RPM	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Pmax (KN)	$\Delta L$ (mm)	Tegangan (MPa)	Regangan (%)	Tegangan Rata-rata (MPa)	Regangan Rata-rata (%)
1	910_1	3,18	12,53	4,58	1,60	114,94	3,20	<b>150,2</b>	<b>2,873</b>
2	910_2	3,17	12,52	6,45	1,60	162,52	3,20		
3	910_3	2,88	12,54	6,25	1,11	173,06	2,22		
4	1500_1	3,04	12,54	5,33	1,11	139,82	2,22	<b>174,0</b>	<b>2,786</b>
5	1500_2	3,07	12,58	7,27	1,83	188,24	3,66		
6	1500_3	2,96	12,55	7,20	1,24	193,82	2,48		
7	2200_1	3,03	12,51	2,74	1,36	72,29	2,72	<b>90,4</b>	<b>2,526</b>
8	2200_2	3,07	12,52	3,31	1,42	86,12	2,84		
9	2200_3	3,11	12,51	4,39	1,04	112,84	2,08		

Dalam pengujian Tarik terdapat sifat Tarik yaitu sifat yang berhubungan dengan pengujian Tarik. Dibandingkan hasil pengelasan, secara umum renggangan Raw Material Mengalami penurunan karena pengaruh panas pada saat bahan aluminium setelah Friction Stir Welding. Dalam sambungan las sifat tarik dipengaruhi leh sifat-sifat logam induk. Sifat logam induk adalah sifat-sifat logamnya meliputi sifat mekanik, sifat fisik, maupun sifat kimia.

#### Pengujian Lengkung/Bending

Pengujian yang dilakukan yaitu Bending pada akar las (root bending) sehingga akar las mengalami tegangan tarik dan permukaan las mengalami tegangan tekan, pengamatan dilakukan di akar las, apakah muncul retak atau tidak. Jika muncul retak dimanakah letaknya, apakah di weld metal, HAZ atau di fusion line (yaitu garis perbatasan weld metal dan HAZ).



**Gambar 11.** Hasil pengujian Bending dari 910 RPM, 1500 RPM dan 2200 RPM.

**Tabel 2.** Pengujian Lengkung.

No.	Variasi RPM	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Pmax (KN)	Defleksi (mm)	Tegangan Bending (MPa)	Rata-rata Tegangan Bending (MPa)
1	910_1	3,22	19,95	1,03	11,71	298,77	<b>302 MPa</b>
2	910_2	3,13	20,01	0,63	7,40	192,82	
3	910_3	3,27	19,95	1,47	16,24	413,46	
4	1500_1	3,18	19,89	0,85	12,89	253,56	<b>268 MPa</b>
5	1500_2	3,17	19,91	1,06	17,71	317,88	
6	1500_3	3,19	19,22	0,76	10,20	233,15	
7	2200_1	3,15	19,98	0,93	11,12	281,46	<b>317 MPa</b>
8	2200_2	3,18	19,96	1,12	22,55	332,93	
9	2200_3	3,15	19,90	1,11	20,48	337,29	

Pengujian kelengkungan suatu material dapat dipengaruhi oleh beberapa hal, selain karena komposisi kimia dan proses pembuatannya, kekuatan kelengkungan juga bisa dipengaruhi oleh perlakuan tertentu, seperti perlakuan panas yang dilakukan saat pengelasan menyebabkan perubahan nilai kekuatan kelengkungan suatu material yang diuji. Hasil dari pengujian Bending pada spesimen dengan variasi putaran 910 rpm memperoleh grafik yang hampir sama dengan spesimen dengan putaran 2200 rpm sedangkan hasil dari variasi putaran 1500 rpm terlihat di grafik yang paling rendah di angka 250 MPa. Ada pula beberapa bahan pengujian bending yang patah bisa diartikan bahwa pada saat melakukan proses pengelasan pada bahan yang akan diuji tidaklah sempurna atau tidak baik mengakibatkan beberapa bahan patah dan retak pada bagian Weld Metal

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan dan penelitian dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari hasil pengujian uji komposisi terdapat perbedaan di bagian HAZ, Weld metal, TMAZ. Perbedaan tersebut berupa corak berwarna hitam dan puting yang berbeda-beda dan juga bulir-bulatan yang dominan banyak di bagian Weld metal dibandingkan dengan HAZ dan TMAZ.
2. Berdasarkan hasil struktur mikro dapat disimpulkan bahwa perubahan struktur mikro mempengaruhi keuletan daerah pengelasan, oleh karena itu terlihat struktur mikro daerah base metal butiran-butiran unturnya lebih besar jika dibandingkan dengan daerah weld metal dimana ukiran-butirannya sebesar 10 $\mu$ m lebih kecil dibandingkan Base metal.
3. Hasil pengujian Tarik pada rpm 1500 mempunyai nilai rata-rata yang baik dibandingkan dengan 910 rpm dan 2200 rpm yaitu di angkat 174,0 MPa lalu di urutan kedua 910 rpm di angka 150,0 MPa dan 2200 rpm di angka 90,4 MPa.
4. Hasil pengujian Bending menunjukkan bahwa hasil rata-rata dari variasi putaran 2200 rpm mempunyai angka yang tinggi yaitu 317 MPa lalu di ikuti dengan variasi putaran 910 rpm dengan angka 302 MPa dan terakhir 1500 rpm 268 MPa.
5. Ada pun bagian yang patah pada beberapa bahan yang telah dilakukan pengujian Tarik dan Bending, lalu terlihat letak patahannya di weld metal uji, hal ini bisa berarti pengelasan yang tidak sempurna.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dalam penyelesaian penelitian ini. Penelitian banyak menerima bimbingan, penunjuk dan nasehat agar tersu semant terutama Institut Teknologi Nasional Yogyakarta telah mendukung saya dalam penelitian ini

## REFERENSI

- A Pradeep, S. Muthukumaran, An analysis to optimize the process parameters of friction stir welded low alloy steel plares.
- Anelis A., 2010, Pengaruh Feed Rate Terhadap Sifat Mekanik Pengelasan Friction Stir Welding Alumunium 6110, Skripsi Teknik Mesin, IST AKPRIND, Yogyakarta.
- Hariato. 2010, sifat kuat Tarik Al 1100 dengan variasi putaran tool 1450,1850 dan 2250. Ikhtiar A R. 2020. Laporan Praktikum Material Teknik Uji Kekerasan dan Rockwell. Universitas Pertamina.
- Iswanto syahidi, Arya Mahendra Sakti, melakukan penelitian tentang “analisis variasi kadar garan pada proses pengecoran terhadap ketangguhan material propeller aluminium Al 6061 dengan metode uji impak ASTM E23-07a”.
- Merdiyanto A. 2016. Pengaruh kecepatan putar tool terhadap sifat mekanik sambungan las Friction Stir Welding pada aluminium 5052. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Mulyadi, Firdaus R, ddk. 2022. Pengaruh parameter proses Friction Stir Welding dengan material aluminium alloy AA 6061-T651 terhadap distorsi dan uji kekerasan. Jurnal program studi Teknik mesin UM Metro. Vol. 11 No. 2.
- Nurdiansyah. 2012. Pengaruh RPM terhadap metalurgi dan kualitas sambungan las sepanjang joint line pada aluminium seri 5083 dengan proses Friction Stir Welding untuk pre-Fabrication panel bangunan atas kapal aluminium. Institute Teknologi Sepuluh November Surabaya.
- Prastina P, Anggertyo I, Adhiptya P. 2016 sifat fisik dan mekanik sambungan las Friction Stir Welding (FSW) AA 5082 dengan variasi bentuk dan kecepatan putar probe pada konstruksi kapal. Prosiding seminar nasional XI Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi 2016 Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Yogyakarta.
- Sudrajat, Angger. 2012. Analisis Sifat Mekanik Hasil Pengelasan Aluminium AA 1100 dengan Metode Friction Stir Welding (FSW), Jurnal Rotor Vol. 5, No.1, Januari 2012.
- Wartono, Kuntara H. pengaruh putaran tools terhadap struktur mikro dan sifat mekanis sambungan friction stir welding pada aluminium paduan 6061. Staf pengajar jurusan Teknik mesin sekolah tinggi.
- Wijayanto, Jarot., dan Mujiarto Sigit. 2010. Friction Stir Welding/FSW pada Paduan Aluminium seri 6061 dan 2024. Yogyakarta: Institut Sains & Teknologi Akprind