

PENGARUH PUTARAN TERHADAP KEKUATAN TARIK PADA *FRICITION WELDING* AA 2024 –T3 DENGAN AA 6061 –T6

I Gede Agus Hendra Setiawan (1811917)

Dosen Pembimbing : Sibut, ST.,MT
Jurusan Teknik Mesin S-1 FTI-Institut Teknologi Nasional Malang
Kampus II Jl. Raya Karanglo Km. 2 Malang
Email : hendrasetiawan480@gmail.com

ABSTRAK

Proses pengelasan untuk dua material yang tidak sejenis masih jarang dilakukan, dan biasanya menggunakan metode *friction welding* karena pada metode lainnya hampir tidak mungkin, dan merupakan salah satu solusi dalam memecahkan permasalahan penyambungan logam yang sulit dilakukan dengan pengelasan cair. Pada penelitian ini dilakukan *friction welding* aluminium AA 2024-T3 dengan AA 6061-T6 dengan menggunakan tiga variasi rpm yaitu 2800, 3400, dan 4000 rpm, selama 50 detik. Untuk mengetahui pengaruh putaran terhadap kekuatan tarik maka dilakukan pengujian berupa uji tarik dan struktur mikronya. Pada pengujian tarik, *Tensile Strength* rpm 2800 rata-ratanya yaitu 56,09 N/mm², rpm 3400 rata-ratanya 75,28 N/mm², rpm 4000 rata-ratanya 101,29 N/mm². Dan *Elongation* pengujian tarik pada rpm 2800 rata-ratanya 11,3%, rpm 3400 rata-ratanya 14,8%, dan rpm 4000 rata-ratanya 18,2%. Rpm 4000 memiliki *Tensile Strength* dan *Elongation* paling tinggi diantara rpm lainnya, hal ini disebabkan pada rpm 2800 setelah diamati struktur mikronya terdapat banyak porositas (udara yang terjebak) yang menyebabkan adanya konsentrasi tegangan. Sedangkan pada rpm 4000 dilihat dari pengamatan struktur mikronya sedikit adanya porositas sehingga kekuatan tarik menjadi lebih tinggi.

Kata Kunci : Aluminium, *Friction Welding*, Variasi Rpm, Uji Tarik, Struktur Mikro.

PENDAHULUAN

Pengelasan (*welding*) merupakan salah satu proses produksi yang banyak digunakan dalam dunia industri karena memiliki keunggulan yaitu mampu menekan penggunaan material dan menyederhanakan proses pembuatan sehingga mengurangi biaya produksi [1].

Teknologi pengelasan merupakan salah satu proses manufaktur dan teknologi penting dalam proses penyambungan material khususnya logam untuk membuat struktur konstruksi maupun mesin-mesin yang mendukung dan menciptakan kenyamanan dan keselamatan hidup manusia.

Pengelasan merupakan proses menyambung logam dengan cara memanaskan sampai mencair, dimana pada benda kerja yang mencair atau meleleh akan menyatu dengan

bantuan bahan tambahan sehingga terbentuklah suatu sambungan [2].

Untuk proses penyambungan logam yang tidak sejenis biasanya menggunakan metode *Friction welding*, cara kerjanya mengandalkan panas dari gesekan akibat perputaran logam yang satu terhadap lainnya [1]. Konsep kerjanya, benda dijepit kemudian digesekkan dengan kecepatan tertentu sehingga timbul panas. Panas akibat gesekan akan mengakibatkan logam tersebut meleleh dan menyatu setelah melewati proses pendinginan.

Pengelasan *Friction welding* memiliki banyak keunggulan dibanding pengelasan lainnya karena tidak memerlukan selaput las, elektroda ataupun gas dalam proses pengelasannya, tidak ada percikan api las ataupun asap yang dihasilkan dan pengelasan dalam kondisi padat, menjadi keuntungan tersendiri karena dapat mengurangi beban dari

penggunaan bahan lain. Hasil sambungannya cenderung lebih bersih dan rapi jika dibanding *solid-state welding* lainnya [3].

Sebagai salah satu metode pengelasan yang baru, pengembangan *Friction welding* masih sangat luas cakupannya. Variabel yang diteliti sangat bervariasi dan menarik untuk dikembangkan.

Friction welding untuk dua material yang jenisnya berbeda umumnya masih jarang dilakukan sehingga penulis mencoba membuktikan “**PENGARUH PUTARAN TERHADAP KEKUATAN TARIK PADA FRICTION WELDING AA 2024 –T3 DENGAN AA 6061 –T6**”. Diharapkan dari proses *Friction welding* ini mendapatkan kesimpulan bagaimana pengaruh dua jenis sambungan material yang berbeda terhadap kekuatan tarik dan struktur mikronya.

METODOLOGI PENELITIAN

Variabel-variabel dalam penelitian ini terdiri dari variabel bebas, terikat dan terkontrol. Variabel bebas pada penelitian ini adalah variasi putaran yaitu 2800 rpm, 3400 rpm, dan 4000 rpm. Variabel terikat (*dependent*) pada penelitian ini adalah kekuatan tarik sambungan. Variabel terkontrol yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari waktu *friction welding* yaitu konstan 50 detik dan tekanan gesek pada permukaan kontak yaitu 2 bar. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana pengaruh putaran terhadap kekuatan tarik pada *friction welding* AA 2024-T3 dengan AA 6061-T6.



Gambar 1. Proses *Friction Welding* [1]

❖ Aluminium 2024-T3

Pada seri 2xxx, unsur padu adalah copper (Cu), tetapi magnesium, silicon dan mangan juga ditambahkan pada paduan ini. Salah satu paduan yang penting pada kelompok ini adalah Al 2024. Paduan AA 2024 diperkuat dengan solid solution dan precipitation strengthening. Paduan AA 2024-T3 memiliki kekuatan Tarik < 400 Mpa, sedangkan pada kondisi T6 sekitar 440 Mpa.

• Sifat – sifat Aluminium 2024-T3

1. Mampu menahan kekuatan Tarik yang tinggi.
2. Memiliki fracture toughness yang baik.
3. Memiliki perambatan retak yang lambat.
4. Fatigue life baik.
5. Aplikasinya untuk struktur pesawat dan biasanya untuk kaleng makanan dan minuman.

❖ Aluminium 6061 –T6

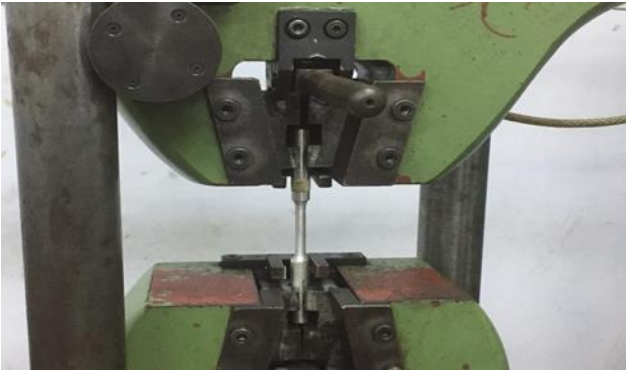
Paduan seri 6xxx. Unsur padu utama adalah magnesium dan silicon yang membentuk senyawa intermetalik Mg_2Si , yang dalam bentuk presipitat memperkuat paduan ini. Paduan 6061 merupakan salah satu unsur yang banyak dipakai, pada T6 aduan ini mempunyai kekuatan Tarik 290 Mpa. Paduan ini banyak dipakai untuk struktur – struktur umum.

• Sifat – sifat Aluminium 6061-T6

1. Tahan terhadap korosi.
2. Mudah di fabrikasi/ dibentuk.
3. Mudah didapat karena sering digunakan.
4. Ketangguhan yang tinggi.
5. Aplikasinya untuk pembuatan rangka kapal dan rangka sepeda.

Pengujian tarik yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan mesin uji tarik (universal testing machine). Pada proses pengujian dilakukan dengan cara benda uji dijepit pada mesin uji tarik, kemudian diberikan beban statik yang dinaikkan secara bertahap sampai spesimen putus. Besarnya beban dan pertambahan panjang dihubungkan langsung dengan Plotter, sehingga diperoleh grafik tegangan (MPa) dan regangan (%) yang memberikan informasi data berupa tegangan luluh (σ_{ys}), tegangan Ultimate (σ_{ult}), Modulus

Elastisitas bahan (E), ketangguhan dan keuletan spesimen yang diuji tarik (Dowling, 1999).

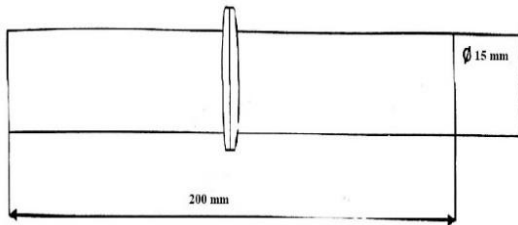


Gambar 2. Pengujian Tarik Pada Aluminium

Prinsip pengujiannya yaitu sampel atau benda uji dengan ukuran dan bentuk tertentu ditarik dengan beban kontinu sambil diukur pertambahan panjangnya. Pengujian tarik dilakukan dengan maksud untuk mengetahui besar kekuatan dan sifat suatu material seperti :

- Tegangan luluh (Yield Stress)
- Kekuatan tarik (Tensile Strength)
- Regangan (Strain)
- Wujud dan patahan bahan

Spesimen yang digunakan dalam percobaan tarik menggunakan batang logam yang beragam bentuknya seperti penampang berbentuk bulat dengan diameter yang berbeda pada bagian tengah yang mempunyai panjang tertentu juga pelat segi empat atau penampang bulat lurus. Bentuk specimen yang demikian dimaksudkan untuk menghasilkan tegangan aksial yang seragam pada pusat bagian pengujian.



Gambar 3. Spesimen

❖ Tempat dan Waktu Penelitian

Tempat yang akan dipilih untuk penelitian yaitu di Laboratorium Permesinan Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9 Malang 65141 selama 4 bulan yaitu dari bulan Oktober - Januari 2020.

❖ Persiapan Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang akan digunakan untuk penelitian ini yaitu :

- a. Bahan
Sebelum dilakukannya pengujian, persiapan bahan perlu dilakukan. Mempersiapkan bahan AA 2024 –T3 dan AA 6061 –T6 sebanyak 9 pasang.
- b. Peralatan
 - Mesin *Friction Welding*
Prinsip kerjanya sama dengan mesin bubut, dengan kecepatan putaran 2000 rpm.
 - Mesin Uji Tarik
Pengujian tarik ini dilakukan pada spesimen hasil pengelasan AA 2024 –T3 dan AA 6061 –T6.
 - Mikroskop
Pengujian struktur mikro ini dilakukan untuk mengetahui struktur mikro dari hasil pengelasan AA 2024 –T3 dengan AA 6061 –T6.

❖ Tahap Persiapan Penelitian

Berikut ini merupakan tahapan dalam proses penelitian yang akan dilakukan oleh penulis diantaranya :

- a. Bahan yang digunakan AA 2024 –T3 dan AA 6061 –T6.
- b. Melakukan *friction welding* pada bahan AA 2024 –T3 dan AA 6061 –T6 dengan variasi putaran rpm yaitu 2800 rpm, 3400 rpm, dan 4000 rpm.
- c. Melakukan uji tarik.
- d. Pengujian struktur mikro.

❖ Variabel Penelitian

Variabel – variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Variabel Bebas
Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan sebelum dilakukan penelitian. Variabel bebas yang digunakan adalah :
 - *Friction speed* : 2800, 3400, 4000 rpm.
2. Variabel Terikat
Variabel terikat adalah variabel dengan besar nilai tergantung dari besar nilai variabel bebas, besar variabel terikat dapat diketahui

setelah penelitian. Dalam penelitian ini yang menjadi variabel terikat adalah kekuatan tarik.

3. Variabel Terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang ditentukan sebelum penelitian dan nilainya dijaga tetap sama selama pengujian berlangsung. Variabel yang besarnya dikendalikan selama penelitian yaitu :

- Tekanan gesek konstan : 2 bar
- Waktu pengelasan konstan : 50 detik

❖ Rancangan Data

Penelitian ini mempunyai rancangan data penelitian seperti pada tabel berikut :

Tabel 1. Rancangan Data Uji Tarik

No	RPM	Spesimen 1	Spesimen 2	Spesimen 3	Rata - rata
1	1000				
2	1500				
3	2000				

Rancangan penelitian ini merupakan cara untuk menentukan keberhasilan suatu penelitian atau eksperimen dan juga menemukan analisis yang sesuai sehingga didapat suatu kesimpulan yang tepat. Pencatatan data merupakan hal yang sangat penting dalam proses analisis data untuk memperoleh informasi tentang sesuatu hal yang benar. Oleh karena itu, diperlukan ketelitian serta adanya sampel yang mewakili populasi dari masalah yang akan diteliti.

❖ Analisa Data

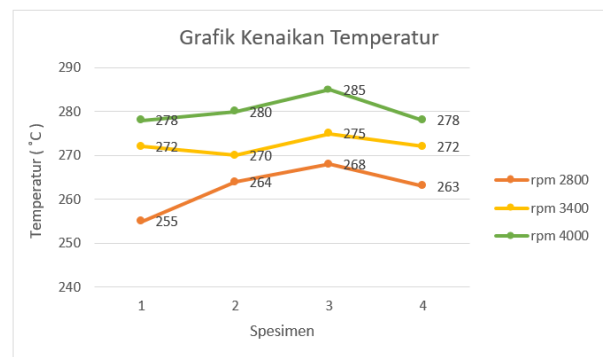
Teknik analisa data yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan teknik analisis diskriptif, yaitu menggambarkan data hasil penelitian dalam bentuk tabel dan grafik seperti yang tercantum pada rancangan tiap-tiap tabel pengujian.

❖ Data Hasil Pengujian

Tabel 2. Data Kenaikan Temperatur Pada Putaran 2800, 3400, 4000 rpm.

No	Variasi Kecepatan Putaran (Rpm)		
	2800 Rpm	3400 Rpm	4000 Rpm
	(°C)	(°C)	(°C)
1	255	272	278
2	264	270	280
3	268	275	285
4	263	272	278

Tabel di atas menunjukkan kenaikan temperatur dengan putaran 2800 Rpm, 3400 Rpm, 4000 Rpm, dengan waktu pengelasan 50 detik dan tekanan gesek 2 bar.



Gambar 4. Grafik Kenaikan Temperatur

Dari grafik diatas menunjukkan bahwa untuk putaran rpm 4000 memiliki kecepatan kenaikan temperatur yang paling tinggi diantara putaran lainnya, putaran sangat berpengaruh karena semakin cepat putaran pada saat *friction welding* maka gesekan yang terjadi pada permukaan spesimen semakin cepat juga sehingga menghasilkan kenaikan temperatur yang besar.



Gambar 5. Hasil Pengelasan Dengan Putaran 2800 Rpm



Gambar 6. Hasil Pengelasan Dengan Putaran 3400 Rpm



Gambar 7. Hasil Pengelasan Dengan Putaran 4000 Rpm

Gambar diatas merupakan hasil *friction welding* dengan variasi putaran yaitu 2800 rpm, 3400 rpm dan 4000 rpm, dengan menggunakan waktu konstan 50 detik dan tekanan 2 bar. Bagian spesimen yang diberi tanda menggunakan plaster merupakan aluminium tipe 2024 -T3, dan begitu sebaliknya bagian yang tidak diberikan plaster merupakan aluminium tipe 6061 -T6.

❖ Analisa Perhitungan Data Untuk Spesimen Dengan Rpm 2800

Dari hasil pengujian spesimen uji tarik yang telah dilakukan maka perhitungan besar tegangan tarik dari setiap spesimen yang sudah dilakukan pengelasan dengan putaran spindel 2800 rpm dengan waktu 50 detik yaitu :

- Luas penampang benda uji mula-mula (A_o)

$$A_o = \frac{1}{4} \pi \cdot (D_o)^2$$

Dimana D_o = diameter mula-mula

$$A_o = \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot (8)^2 \\ = 50,24 \text{ mm}^2$$

- Hubungan tegangan dan regangan

$$\sigma = \frac{P}{A_o} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

Dimana :

σ = Tegangan tarik (N/mm²)

P = Beban tarik (N)

A_o = Luas penampang spesimen awal (mm²)

- Regangan pada saat itu dapat dirumuskan sebagai berikut

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_o} \times 100\% \text{ (mm)} \text{ Atau } \epsilon = \frac{L - L_o}{L_o} \times 100\% \text{ (mm)}$$

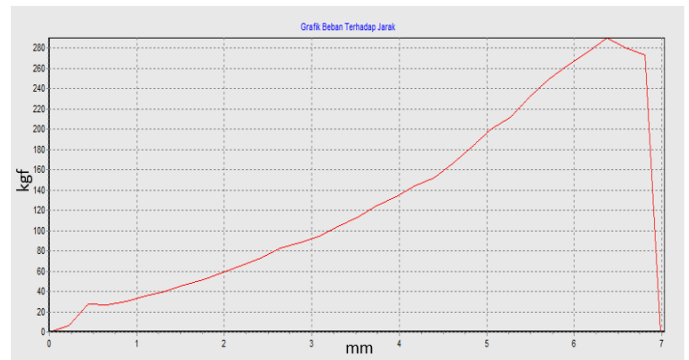
Dimana :

ϵ = Regangan (mm)

L_o = Panjang awal batang uji (mm)

L = Panjang batang uji saat menerima beban (mm)

a. Hasil pengujian spesimen 1 dengan putaran 2800 rpm



Gambar 8. Hasil Uji Tarik Spesimen 1 Pada Putaran 2800 Rpm

Analisa perhitungan data :

Hubungan tegangan dan regangan

$$\sigma = \frac{P}{A_o} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$\sigma = \frac{2847,85}{50,24} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$= 56,68 \text{ N/mm}^2$$

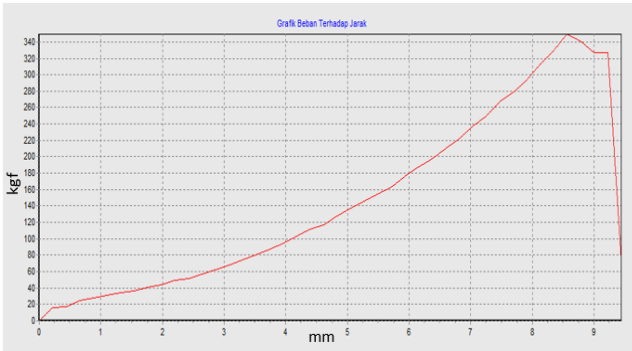
Sedangkan regangan pada saat itu dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\epsilon = \frac{6,4}{50} \times 100\% \text{ (mm)}$$

$$= 12,8 \%$$

Menyatakan bahwa pada pengujian ini terjadi regangan sebesar 12,8% yang menandakan hasil dari *friction welding* mampu menahan beban tarik sebesar 56,68 N/mm² hingga terjadi regangan plastis pada material uji.

b. Hasil pengujian spesimen 1 dengan putaran 3400 rpm



Gambar 9. Hasil Uji Tarik Spesimen 1 Pada Putaran 3400 Rpm

Analisa perhitungan data :

Hubungan tegangan dan regangan

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$\sigma = \frac{3481,36}{50,24} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$= 69,29 \text{ N/mm}^2$$

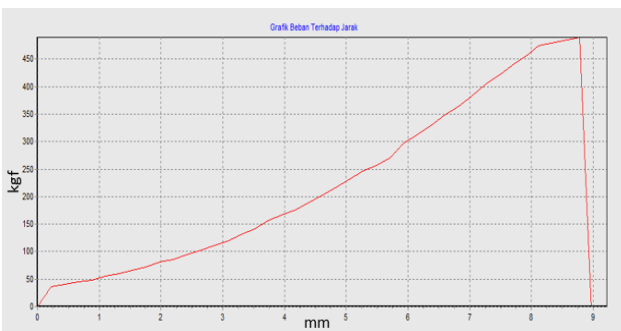
Sedangkan regangan pada saat itu dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\epsilon = \frac{8,6}{50} \times 100\% \text{ (mm)}$$

$$= 17,2 \%$$

Menyatakan bahwa pada pengujian ini terjadi regangan sebesar 17,2% yang menandakan hasil dari *friction welding* mampu menahan beban tarik sebesar 69,29 N/mm² hingga terjadi regangan plastis pada material uji.

c. Hasil pengujian spesimen 1 dengan putaran 4000 rpm



Gambar 10. Hasil Uji Tarik Spesimen 1 Pada Putaran 4000 Rpm

Analisa perhitungan data :

Hubungan tegangan dan regangan

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$\sigma = \frac{4800,85}{50,24} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$= 95,56 \text{ N/mm}^2$$

Sedangkan regangan pada saat itu dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\epsilon = \frac{8,8}{50} \times 100\% \text{ (mm)}$$

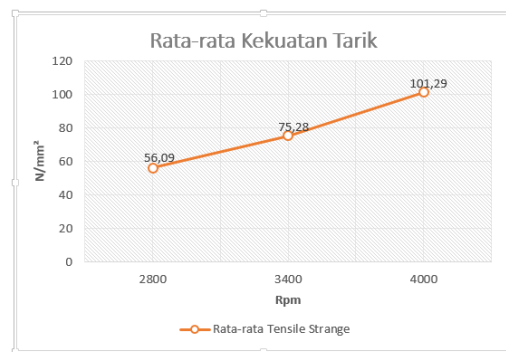
$$= 17,6 \%$$

Menyatakan bahwa pada pengujian ini terjadi regangan sebesar 17,6% yang menandakan hasil dari *friction welding* mampu menahan beban tarik sebesar 95,56 N/mm² hingga terjadi regangan plastis pada material uji.

❖ **Hasil Perhitungan Pengujian Tarik**

Tabel 3. Data Hasil Pengujian Tarik

Putaran Spindel	Luas A (mm ²)	Max Force (N)	Yield Strength (N/mm ²)	Tensile Strang (N/mm ²)	Elongation (%)
2800	50,24	2847,85	5,26	56,68	12,8
	50,24	2694,38	8,37	53,63	10,6
	50,24	2911,59	5,72	57,95	10,4
Rata-rata	50,24	2817,94	6,45	56,09	11,3
3400	50,24	3481,36	4,16	69,29	17,2
	50,24	3407,81	5,78	67,83	13,4
	50,24	4457,61	6,49	88,73	14
Rata-rata	50,24	3782,26	5,48	75,28	14,8
4000	50,24	4800,85	5,06	95,56	17,6
	50,24	5630	11,63	112,06	18,4
	50,24	4836,64	5,57	96,27	18,6
Rata-rata	50,24	5089,16	7,42	101,29	18,2



Gambar 11. Grafik Pengujian Tarik



Gambar 12. Struktur Mikro Dengan Rpm 2800



Gambar 13. Struktur Mikro Dengan Rpm 3400



Gambar 14. Struktur Mikro Dengan Rpm 4000

❖ Pembahasan

Dari hasil yang didapat menunjukkan bahwa putaran motor sangat berpengaruh terhadap kekuatan tariknya. Karena semakin cepat putaran motor semakin banyak gesekan yang terjadi pada permukaan spesimen tersebut sehingga temperature yang dihasilkan karena gesekan tersebut sangat tinggi dan membuat spesimen semakin lumer, menjadikan material menyambung dengan baik sehingga kekuatan tariknya akan meningkat.

Dari hasil *friction welding* dengan variasi putaran rpm menunjukkan bahwa peningkatan putaran rpm dapat meningkatkan tegangan tarik hasil *friction welding*. Hal ini disebabkan pada putaran rpm 2800 setelah diamati struktur mikronya terdapat banyak porositas (udara yang terjebak) yang menyebabkan adanya konsentrasi tegangan. Sedangkan pada putaran rpm 4000 dilihat dari pengamatan struktur mikronya sedikit

adanya porositas sehingga kekuatan tariknya menjadi lebih tinggi.

❖ Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari pengujian yang dilakukan pada *friction welding* dengan putaran 2800 rpm dengan waktu 50 detik didapatkan hasil rata-rata pengujian tarik yaitu sebesar 56,09 N/mm², pada Rpm 3400 dengan waktu 50 detik sebesar 75,28 N/mm² dan pada Rpm 4000 dengan waktu 50 detik sebesar 101,29.
2. Semakin tinggi putaran Rpmnya maka semakin kuat kekuatan tariknya. Hal ini dikarenakan semakin cepat putaran motor semakin banyak gesekan yang terjadi pada permukaan spesimen tersebut sehingga temperature yang dihasilkan karena gesekan tersebut sangat tinggi dan membuat spesimen semakin lumer sehingga menjadikan material tersambung dengan baik.
3. Peningkatan putaran rpm dapat meningkatkan tegangan tarik hasil *friction welding*. Hal ini disebabkan pada putaran rpm 2800 setelah diamati struktur mikronya terdapat banyak porositas (udara yang terjebak) yang menyebabkan adanya konsentrasi tegangan. Sedangkan pada putaran rpm 4000 dilihat dari pengamatan struktur mikronya sedikit adanya porositas sehingga kekuatan tariknya menjadi lebih tinggi.

❖ Saran

Adapun saran yang dapat penulis sampaikan adalah sebagai berikut :

1. Sebelum melakukan pengujian semua alat dan bahan yang diperlukan harus disiapkan secara cermat terlebih dahulu agar mempermudah proses penelitian.
2. Untuk penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan pengujian kekerasan untuk mengetahui kekerasan daerah HAZ dan *stir zone*.

3. Pengamatan mikro untuk penelitian selanjutnya menggunakan pembesaran lensa yang lebih.
4. Pencekaman benda kerja harus sekuat mungkin karena putaran rpm menghasilkan getaran yang besar sehingga material rawan bergeser. Pada saat pengelasan permukaan benda kerja harus lurus dan presisi guna mendapatkan hasil yang maksimal.

❖ Daftar Pustaka

- [1] Saputra Ahmad Adi, 2017. Analisa Pengelasan Friction Welding Magnesium AZ31 Menggunakan Aplikasi Thermografi. Bandar Lampung. Universitas Lampung.
- [2] Satoto & Ibnu. (2002). Kekuatan Tarik, Struktur Mikro, Dan Struktur Makro Lasan *Stainless Steel* dengan Las Gesek (Friction Welding), Univ. Muhammadiyah, Yogyakarta.
- [3] Iswar. M & Syam. R. (2012) Pengaruh Variasi Parameter pengelasan (Putaran dan Temperatur) Terhadap Kekuatan Sambungan Las Friction Welding Pada Baja Karbon Rendah. Jurnal. Jurusan Teknik Mesin Universitas Hasanuddin.
- [4] Yudha Iswana Prapanca. (2012) Pengaruh Putaran Terhadap Kekuatan Tarik Pada Proses Pengelasan Gesek Aluminium dan Tembaga. Jurnal. Jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Nasional Malang.
- [5] Surdia Tata, Saito Shiroku. 1999. Pengetahuan Bahan Teknik. Jakarta. Pradnya Paramita.
- [6] Wahyudianto Fx Arif. 2015. Pengaruh Kecepatan Putaran Tool Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan dan Kekuatan Tarik Pada Sambungan Las FSW Tak Sejenis Antara AA5083 dan AA6061-T6.
- [7] Sari Rahmawati Zulaina. 2010. Analisa Pengaruh Sr dan Ti Terhadap Ketahanan Korosi Paduan AC4B. Depok. Universitas Indonesia.
- [8] Shinta Pranata. 2018. Analisa Sifat Mekanis Aluminium Seri 6061-T6. Sumatra Utara. Universitas Sumatra Utara.
- [9] Ferry Anto, 2009. Sifat Fisis dan Mekanis Batang Penghubung Bawah (Cushion Bottom) Shock Absorber Sepeda Motor dengan Bahan Paduan Aluminium Silikon Magnesium. Yogyakarta. Universitas Sanata Dharma.
- [10] Irawan Yudy Surya. 2013. Material Teknik Malang. Universitas Braijaya.
- [11] *Approved American National Standard*. 2016. *Standard Methods For Mechanical Testing Ow Welds*. American Welding Society.
- [12] Mahardika I Wayan Putra Sriyawan. 2019. Pengaruh Variasi Kecepatan dan Rpm Pada Pengelasan Friction Stir Welding Aluminium dan Tembaga Terhadap Kekuatan Tarik. Malang. Institut Teknologi Nasional.
- [13] Annisa Fairus Syafira. 2014. Klasifikasi Etsa Asam. Universitas Mulawarman Samarinda.
- [14] Okumura, T. & Wiryosumarto, H. 1996, Teknologi Pengelasan Logam, Pradnya Paramita, Jakarta.
- [15] Sahin, M., Joining of aluminium and copper materials with friction welding, The international journal of Advanced manufacturing Technologi, Volume; 49, issue 5-8, 2010,pp: 527-534.
- [16] Sahin, M., Joining of stainless steel and copper materials with friction welding, Industrial Lubrication and Tribology, Volume: 61, Issue 6, 2009,pp:319-324.