

ANALISIS SIFAT MEKANIK PENGELASAN GESEK (*FRICTION WELDING*) ALUMINIUM 6061 DENGAN VARIASI KECEPATAN PUTAR PADA MESIN BUBUT

Efrianto *¹

Razali ²

^{1,2} Politeknik Negeri Bengkalis

*e-mail: fery.efrian@gmail.com, razali@polbeng.ac.id

Abstrak

Pengelasan gesek adalah metode pengelasan dengan menggunakan energi panas yang terbentuk dari pergesekan diantara kedua permukaan material atau mata pahat yang bergerak. Parameter dari pengelasan gesek meliputi, kecepatan putaran pada proses pergesekan, waktu pada saat pengelasan, dan tekanan yang diberikan saat terjadi pergesekan. Penelitian ini dilaksanakan untuk mengetahui bagaimana kualitas hasil dari sambungan pengelasan gesek melalui uji tarik dan kekerasan brinell. Kecepatan putaran yang digunakan adalah 1366 rpm, waktu pengelasan yang digunakan dari 90 detik, 110 detik, dan 120 detik. Spesimen yang digunakan pada penelitian ini merupakan round bar aluminium 6061 dengan diameter 16 mm dan panjang 150 mm. Uji tarik digunakan untuk mengetahui bagaimana kekuatan tarik material hasil sambungan pengelasan gesek. Untuk nilai kekuatan tarik tertinggi dari hasil sambungan las gesek terdapat pada variasi waktu 120 detik sebesar 72.124 N/mm². Untuk nilai kekuatan tarik terendah didapat dari hasil sambungan las gesek kecepatan 90 detik dengan nilai kekuatan tarik sebesar 28.972 N/mm².

Kata Kunci: Friction Welding, Variasi Waktu, Uji Tarik

Abstract

Friction welding is a welding method using heat energy formed from friction between two material surfaces or moving tool blades. The parameters of friction welding include the rotation speed in the friction process, the time during welding, and the pressure applied during friction. This research was conducted to find out how the quality of the results of friction welding joints through tensile tests and Brinell hardness. The rotation speed used was 1366 rpm, the welding time used was 90 seconds, 110 seconds, and 120 seconds. The specimen used in this study is a 6061 aluminum round bar with a diameter of 16 mm and a length of 150 mm. The Tensile Test is used to determine how the tensile strength of the material resulting from the friction welding connection. The highest tensile strength value of the friction welding connection results is found in the 120 second time variation of 72.124 N/mm². For the lowest tensile strength value obtained from the 90 second speed friction welding connection with a tensile strength value of 28.972 N/mm².

Keywords: Friction Welding, Time Variation, Tensile Test

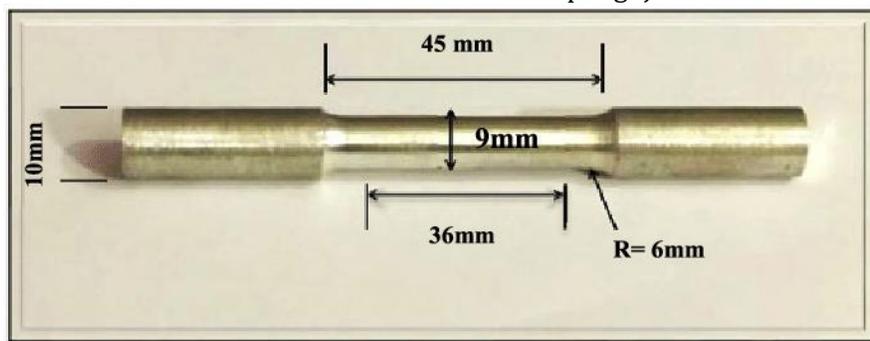
PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan industri manufaktur, teknologi pengelasan juga mengalami peningkatan yang signifikan, didorong oleh kebutuhan industri yang mengandalkan pengelasan sebagai metode utama dalam penyambungan logam. Pengelasan merupakan bagian integral dari proses manufaktur yang bertujuan untuk mendapatkan kombinasi sifat fisik dan mekanik yang optimal, baik pada material yang berbeda maupun yang sejenis. Meskipun demikian, pengelasan konvensional sering menghadapi sejumlah tantangan, seperti terbentuknya terak pada hasil lasan, emisi asap atau gas yang dapat mencemari lingkungan, serta kebutuhan akan logam pengisi. Untuk mengatasi masalah-masalah tersebut, telah berkembang berbagai metode pengelasan baru, salah satunya adalah pengelasan gesek (*friction welding*). Metode ini memanfaatkan panas yang dihasilkan dari gesekan antara dua benda kerja, yang bergerak relatif satu sama lain, untuk mencapai sambungan yang kuat tanpa harus mencairkan logam.

Pengelasan gesek menawarkan banyak keunggulan, termasuk proses yang cepat, tanpa memerlukan logam pengisi, dan pengendalian panas yang lebih baik sehingga tidak mencairkan logam sepenuhnya. Selain itu, metode ini juga mudah diterapkan dengan menggunakan mesin perkakas yang ada. Namun, di Indonesia, teknologi ini masih relatif baru dan belum banyak diterapkan, baik dalam aplikasi industri maupun penelitian. Aluminium 6061, yang sering digunakan dalam industri otomotif dan transportasi karena kekuatannya yang tinggi serta ketahanan terhadap korosi, merupakan salah satu material yang dapat diuntungkan dari penggunaan pengelasan gesek. Meskipun aluminium memiliki sifat tahan korosi yang baik, material ini dikenal sulit untuk disambung dengan metode pengelasan tradisional karena adanya lapisan oksida pada permukaannya, serta konduktivitas panas yang tinggi dan titik leleh yang rendah. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kuat tarik dan kekerasan hasil penyambungan aluminium 6061 menggunakan metode friction welding, melalui pengujian tarik dan uji kekerasan.

Dalam sebuah penelitian, salah satu metode pengujian yang sering digunakan untuk menguji material adalah uji tarik. Menurut Dieter (1988), uji tarik merupakan salah satu uji mekanik tegangan-regangan yang bertujuan untuk menentukan kekuatan material terhadap gaya tarik. Proses pengujian ini melibatkan penarikan bahan uji hingga putus. Uji tarik sering digunakan untuk mendapatkan informasi dasar tentang kekuatan material dan sebagai data pendukung untuk spesifikasi bahan. Selama uji tarik, benda uji diberi beban gaya tarik aksial yang meningkat secara kontinu, dan perpanjangan benda uji diamati. Berdasarkan hasil pengujian, dibuat kurva tegangan-regangan. Tegangan pada kurva tersebut adalah tegangan aksial rata-rata yang diperoleh dengan membagi beban yang diterapkan dengan luas awal penampang benda uji. Sementara itu, regangan pada kurva tegangan-regangan adalah regangan linier rata-rata, yang dihitung dengan membagi perpanjangan yang terjadi setelah pengujian dengan panjang awal benda uji.

Standar uji tarik yang diterapkan dalam penelitian ini adalah ASTM E8/E8M - 13a, yang mengatur metode pengujian tegangan untuk material logam. Standar ini mencakup spesifikasi ukuran benda uji, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5. Panduan ini memberikan pedoman yang jelas untuk memastikan konsistensi dan akurasi dalam pengujian kekuatan tarik material logam.



Gambar 1. Spesimen Uji Tarik ASTM E8/E8M -13a

Pengujian tarik ini merupakan metode yang sederhana dan telah distandarisasi secara internasional. Dengan menerapkan gaya tarik pada bahan, kita dapat mengevaluasi reaksi bahan terhadap tarikan tersebut serta menentukan seberapa jauh material tersebut dapat memanjang. Alat eksperimen untuk uji tarik harus dilengkapi dengan cengkraman yang kokoh dan kekakuan yang tinggi untuk memastikan hasil pengujian yang akurat dan konsisten.

METODE

Untuk mendukung proses pengujian, berbagai alat dan bahan digunakan. Mesin bubut merupakan alat utama yang digunakan untuk memotong benda dengan cara memutarnya, dan juga untuk pengelasan gesek, di mana benda kerja diputar pada cakram untuk menghasilkan panas dan menyambungkan dua permukaan material. Mesin bubut yang digunakan adalah merk Krisbow tipe

KW 15-979 dengan spesifikasi seperti daya mesin 380 volt, lebar bed 800 mm, dan kecepatan maksimal 1255 rpm. Selain itu, alat uji tarik digunakan untuk mengukur kekuatan tarik material dengan cara menarik spesimen hingga putus. Alat ini memiliki kapasitas 30 ton dan spesifikasi lainnya seperti voltase 380 V dan dibuat pada tahun 2010. Jangka sorong digunakan untuk mengukur diameter material aluminium 6061, sedangkan penggaris baja digunakan untuk mengukur panjang material yang sama. Untuk mengukur kekerasan material, digunakan hardness tester yang menekan indenter ke permukaan benda uji. Tachometer diperlukan untuk mengukur kecepatan putaran mesin bubut, sementara gerinda digunakan untuk memotong material. Sedangkan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah aluminium diameter 16 mm dan panjang 150 mm dengan *type Al-Mg-Si 6061*

Tahapan penelitian dimulai dengan studi literatur, di mana penulis menelaah buku, jurnal, dan makalah terkait untuk merumuskan langkah-langkah sistematis penelitian. Selanjutnya, persiapan alat dan bahan dilakukan, termasuk pengukuran dan pemotongan sesuai spesifikasi. Metode penelitian melibatkan pengujian las gesek (*friction welding*) untuk menilai pengaruh waktu gesekan terhadap kekuatan tarik dan kekerasan material. Proses penelitian mencakup pemotongan spesimen menggunakan mesin gerinda, pembubutan material menjadi 16 mm dengan kecepatan 755 rpm, dan pelaksanaan *friction welding*. Setelah proses pengelasan, spesimen diuji untuk tarik dan kekerasan guna mengevaluasi kekuatan lasan pada aluminium 6061. Kesimpulan diambil berdasarkan hasil uji untuk menilai efektivitas las gesek pada material tersebut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengelasan Metode *Friction Welding*

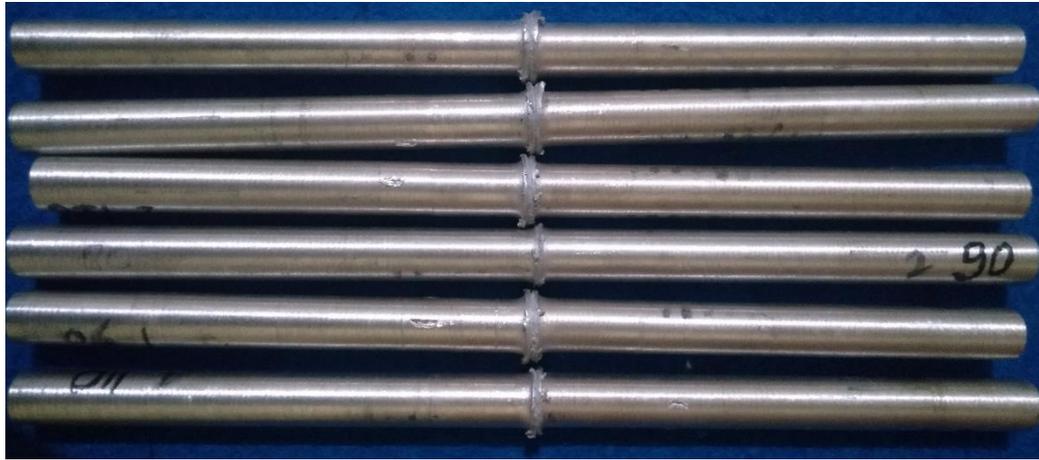
Hasil pengelasan menggunakan metode *friction welding* dengan variasi waktu gesekan 90, 110, dan 120 detik memberikan gambaran yang menarik untuk dibahas lebih lanjut. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, hasil penyambungan menunjukkan variasi yang cukup signifikan tergantung pada lamanya waktu gesekan yang diterapkan. Untuk memberikan pemahaman yang lebih mendalam, perhatikan Gambar 2 di bawah ini, yang menggambarkan dengan jelas bagaimana perubahan waktu gesekan mempengaruhi hasil akhir dari proses pengelasan ini.



(a) Penyambungan 1 dengan variasi waktu 90, 110 dan 120 detik



(b) Penyambungan 2 dengan variasi waktu 90, 110 dan 120 detik



Gambar 2. Hasil pengelasan *friction welding* dengan tiga variasi waktu

Mengacu pada gambar 2 di atas, perbedaan bentuk lelehan hasil penyambungan terlihat jelas, dengan lelehan yang semakin besar seiring dengan bertambahnya waktu penyambungan. Fenomena ini terjadi karena peningkatan suhu yang dihasilkan oleh gesekan selama proses penyambungan. Peningkatan waktu penyambungan dalam *friction welding* secara langsung memengaruhi suhu yang dihasilkan, yang pada gilirannya meningkatkan volume lelehan. Lelehan yang lebih besar menunjukkan bahwa material menjadi lebih cair, memperkuat sambungan antar material. Namun, waktu yang terlalu lama juga bisa menyebabkan deformasi berlebihan, yang perlu diperhitungkan untuk menjaga kualitas pengelasan.

Tabel 1. Data *Friction Welding*

Spesimen	Waktu Gesekan (detik)	Kecepatan Putaran (rpm)	Tekanan Aksial (N/mm ²)
1	90	1366	6
2	110	1366	6
3	120	1366	6
1	90	1366	6
2	110	1366	6
3	120	1366	6

Sumber: Olahan Peneliti, 2024

Berdasarkan data yang ditampilkan dalam tabel 1, terlihat bahwa proses *friction welding* dilakukan dengan tiga variasi waktu gesekan, yaitu 90, 110, dan 120 detik, sementara kecepatan putaran tetap pada 1366 rpm dan tekanan aksial pada 6 N/mm². Dari hasil penyambungan tersebut, dapat disimpulkan bahwa semakin lama waktu gesekan yang digunakan, semakin besar pula lelehan yang dihasilkan pada sambungan. Hal ini dikarenakan waktu gesekan yang lebih lama menyebabkan peningkatan suhu yang lebih signifikan akibat gesekan antar permukaan material yang semakin intens. Suhu yang lebih tinggi ini mengakibatkan material menjadi lebih lunak dan memungkinkan terbentuknya lelehan yang lebih besar, sehingga memberikan kontribusi yang lebih signifikan terhadap proses penyambungan. Dengan demikian, pengaturan waktu gesekan yang tepat menjadi faktor kunci dalam menentukan kualitas hasil pengelasan menggunakan metode *friction welding*.

B. Hasil Pengujian Tarik

Setelah proses pengelasan menggunakan metode *friction welding* pada aluminium 6061, dilakukan pengujian tarik sesuai dengan standar ASTM E8 untuk mengevaluasi kekuatan material. Pengujian ini melibatkan tiga variasi waktu gesekan, yaitu 90, 110, dan 120 detik, di mana setiap variasi waktu diwakili oleh satu spesimen uji. Pengujian tarik ini sangat penting karena memberikan gambaran yang jelas mengenai bagaimana variasi waktu gesekan dapat memengaruhi kekuatan tarik dari

sambungan yang dihasilkan, yang pada akhirnya akan berdampak pada performa dan keandalan material dalam aplikasi yang sesungguhnya.

Tabel 2. Hasil Pengujian Tarik Dengan Tiga Variasi Waktu Penyambungan

spesimen	Waktu (detik)	rpm	A _o (mm)	L (mm)	ΔL (mm)	Max.Load (N)	Tensile Strength (N/mm ²)
1	90	1366	63.58	45	0.68	1842.082	28.972
2	110	1366	63.58	45	0.89	2904.713	45.685
3	120	1366	63.58	45	1.19	4585.692	72.124

Berdasarkan hasil pengujian pengelasan aluminium menggunakan metode friction welding, data yang ditampilkan pada Tabel 4.2 menunjukkan adanya perbedaan yang cukup mencolok antara tiga spesimen dengan variasi waktu gesekan yang berbeda. Perbedaan ini tampak jelas baik dari segi pertambahan panjang maupun beban yang dihasilkan oleh setiap spesimen. Salah satu faktor yang memengaruhi hasil pengujian adalah adanya kendala teknis selama proses penyambungan, di mana tailstock tidak dapat dikunci dengan kuat. Kendala ini mengharuskan adanya penyesuaian atau improvisasi selama proses pengelasan. Kondisi tersebut tentu berdampak pada hasil pengujian, yang mungkin tidak sepenuhnya merefleksikan kinerja optimal dari metode friction welding. Situasi ini menunjukkan betapa pentingnya memastikan setiap komponen peralatan berfungsi dengan baik untuk mendapatkan hasil yang akurat dan konsisten dalam setiap pengujian.

1. Hasil Uji Tarik Dengan Variasi Waktu 90 Detik

Berdasarkan hasil uji tarik dengan variasi waktu penyambungan selama 90 detik, terlihat pada Gambar 3. di bawah ini.



Gambar 3. Hasil Uji Tarik dengan Variasi Waktu 90 Detik (sumber: Olahan Peneliti, 2024)

Merujuk pada Gambar 3, terlihat bahwa hasil uji tarik menunjukkan bahwa area putus pada spesimen terjadi di bagian inti pengelasan. Sementara itu, pada Tabel 2, terlihat bahwa beban maksimal (Max Load) pada penyambungan dengan variasi waktu 90 detik mencapai 1842,082 N, dan pertambahan panjang (ΔL) sebesar 0,68 mm. Area putus yang terjadi di bagian inti pengelasan menunjukkan bahwa kekuatan sambungan dipusatkan di area tersebut, yang merupakan titik kritis dalam menahan beban. Beban maksimal yang cukup tinggi serta pertambahan panjang yang terjadi menunjukkan bahwa sambungan memiliki kekuatan tarik yang cukup baik, meskipun masih terdapat sedikit deformasi yang terjadi. Hal ini mencerminkan bahwa dengan waktu penyambungan 90 detik, proses pengelasan mampu menghasilkan sambungan yang cukup kuat dan tahan terhadap beban tarik, meskipun optimalisasi lebih lanjut mungkin diperlukan untuk mengurangi deformasi. Sebelum melakukan pencarian nilai tegangan maka perlu diketahui terlebih dahulu nilai dari luas penampang batang (A_o) dengan rumus sebagai berikut:

$$A_o = \pi \times r^2$$

$$\begin{aligned}
 &= 3.14 \times (4.5^2) \\
 &= 3.14 \times 20.25 \\
 &= 63.58 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Setelah menghitung luas penampang batang (A_o) menggunakan rumus yang telah disebutkan, langkah selanjutnya adalah menentukan nilai tegangan, regangan, dan modulus elastisitas untuk spesimen dengan variasi waktu 90 detik.

Tegangan:

$$\bullet \quad \sigma = \frac{F}{A_o} = \frac{1842.082 \text{ N}}{63.58 \text{ mm}^2} = 28.972 \text{ N/mm}^2$$

Regangan:

$$\bullet \quad \varepsilon = \frac{\Delta L}{L_o} = \frac{0.68 \text{ mm}}{45 \text{ mm}} = -0.0151 \times 100 \% = -1.51 \%$$

Modulus Elastisitas:

$$\bullet \quad E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{28.972 \text{ N}}{-1.51 \%} = -19.1867 \text{ N/mm}^2$$

2. Hasil Uji Tarik dengan Variasi Waktu 110 Detik

Berdasarkan hasil uji tarik dengan variasi waktu penyambungan selama 110 detik, hasilnya dapat dilihat pada Gambar 4 di bawah ini.



Gambar 4. hasil uji tarik dengan variasi waktu 110 detik
(sumber: penulis 2024)

Berdasarkan Gambar 4.3, terlihat bahwa hasil uji tarik menunjukkan daerah putus pada spesimen terletak di area inti pengelasan. Sementara itu, dari Tabel 4.2, dapat dilihat bahwa beban maksimum (Max Load) yang tercapai pada penyambungan dengan waktu gesekan 110 detik adalah 4585,692 N, dengan pertambahan panjang (ΔL) sebesar 0,89 mm. Posisi daerah putus di area inti pengelasan mengindikasikan bahwa zona ini merupakan titik lemah dalam spesimen. Beban maksimum yang cukup tinggi, disertai dengan pertambahan panjang yang moderat, menunjukkan bahwa meskipun pengelasan cukup kuat untuk menahan beban besar, ada beberapa deformasi sebelum putus. Penentuan luas penampang penting untuk perhitungan tegangan, yang akan memberikan gambaran lebih jelas mengenai kekuatan material setelah pengelasan. Sebelum melakukan pencarian nilai tegangan maka perlu diketahui terlebih dahulu nilai dari luas penampang batang (A_o) dengan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 A_o &= \pi \times r^2 \\
 &= 3.14 \times (4.5^2) \\
 &= 3.14 \times 20.25 \\
 &= 63.58 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Setelah menentukan nilai luas penampang batang (A_o) menggunakan rumus yang telah disebutkan, langkah berikutnya adalah menghitung nilai tegangan, regangan, dan modulus elastisitas dari spesimen dengan waktu penyambungan 110 detik.

Tegangan:

- $\sigma = \frac{F}{A_o} = \frac{2904.713 \text{ N}}{63.58 \text{ mm}^2} = 45.685 \text{ N/mm}^2$

Regangan:

- $\epsilon = \frac{\Delta L}{L} = \frac{0.89 \text{ mm}}{45 \text{ mm}} = - 0.0197 \times 100 \% = - 1.97 \%$

Modulus Elastisitas:

- $E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{45.685 \text{ N}}{- 1.97 \%} = - 23.1903 \text{ N/mm}^2$

3. Hasil Uji Tarik Dengan Variasi Waktu 120 Detik

Hasil uji tarik dengan waktu penyambungan 120 detik dapat dilihat pada Gambar 5 di bawah ini.



Gambar 5. Hasil uji tarik dengan variasi waktu 120 detik

Berdasarkan Gambar 5, hasil uji tarik menunjukkan bahwa area putus pada spesimen terjadi di daerah inti pengelasan. Tabel 4.2 memperlihatkan bahwa beban maksimal (Max Load) untuk sambungan dengan variasi waktu 120 detik adalah 2904.713 N, sementara pertambahan panjang (ΔL) untuk waktu yang sama adalah 1.19 mm. Hasil uji tarik menunjukkan bahwa sambungan dengan waktu penyambungan 120 detik mengalami kegagalan di area inti pengelasan, yang mengindikasikan bahwa kekuatan sambungan mungkin tidak merata di seluruh area. Beban maksimal yang dicapai menunjukkan bahwa sambungan tersebut mampu menahan gaya yang cukup besar, namun pertambahan panjang yang relatif kecil menunjukkan bahwa sambungan memiliki ketahanan yang baik terhadap deformasi. Kelemahan di area inti mungkin disebabkan oleh distribusi panas yang tidak merata selama proses pengelasan, yang dapat mempengaruhi kekuatan sambungan secara keseluruhan. Sebelum melakukan pencarian nilai tegangan maka perlu diketahui terlebih dahulu nilai dari luas penampang batang (A_o) dengan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} A_o &= \pi \times r^2 \\ &= 3.14 \times (4.5^2) \\ &= 3.14 \times 20.25 \\ &= 63.58 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Setelah mendapatkan nilai dari luas penampang batang (A_o) dengan rumus diatas, maka selanjutnya mencari nilai tegangan, regangan dan modulus elastisitas dari spesimen dengan variasi waktu 120 detik adalah:

Spesimen 120 detik:

Tegangan:

- $\sigma = \frac{F}{A_o} = \frac{4585.692 \text{ N}}{63.58 \text{ mm}^2} = 72.124 \text{ N/mm}^2$

Regangan:

- $\epsilon = \frac{\Delta L}{L} = \frac{1.19 \text{ mm}}{45 \text{ mm}} = - 0.0264 \times 100 \% = - 2.64 \%$

Modulus Elastisitas:

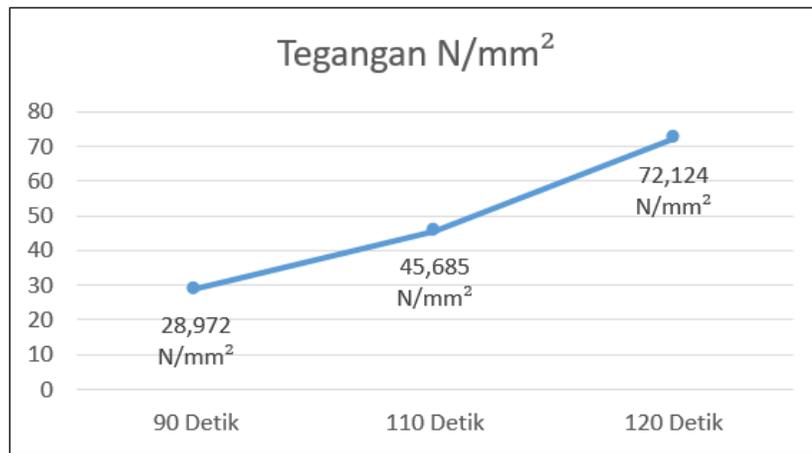
- $E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{72.124 \text{ N}}{-2.64 \%} = -27.3196 \text{ N/mm}^2$

C. Nilai Pengujian Tarik

Berdasarkan hasil perhitungan nilai uji tarik untuk ketiga spesimen dengan variasi yang berbeda, diperoleh nilai-nilai tegangan, regangan, dan modulus elastisitas masing-masing. Data ini dirangkum dalam Tabel 4.3 yang terdapat di bawah ini. Tabel tersebut menyajikan informasi detail mengenai kekuatan dan deformasi material pada setiap variasi, memberikan gambaran menyeluruh tentang bagaimana perubahan waktu penyambungan mempengaruhi karakteristik mekanik dari sambungan yang diuji.

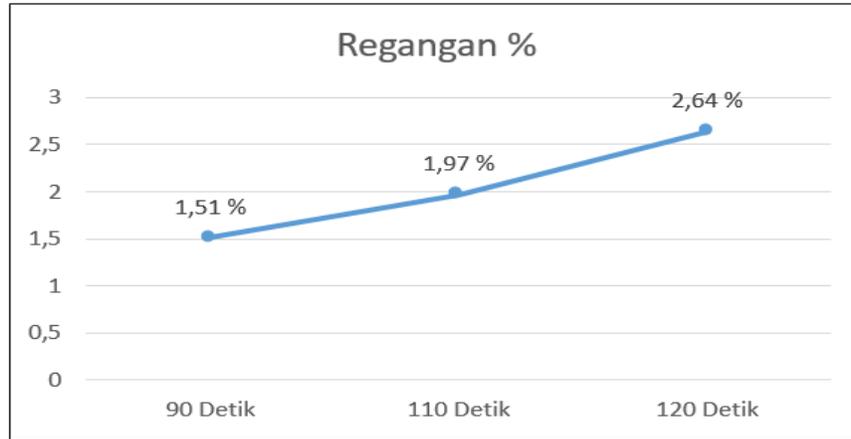
Tabel 3. Nilai Hasil Perhitungan Pengujian Tarik

No	Waktu Gesekan (detik)	Tegangan σ (N/mm ²)	Regangan ϵ (%)	Modulus Elastisitas E (N/mm ²)
1	90	28.972	-1.51	-19.1867
2	110	45.685	-1.97	-23.1903
3	120	72.124	-2.64	-27.3196



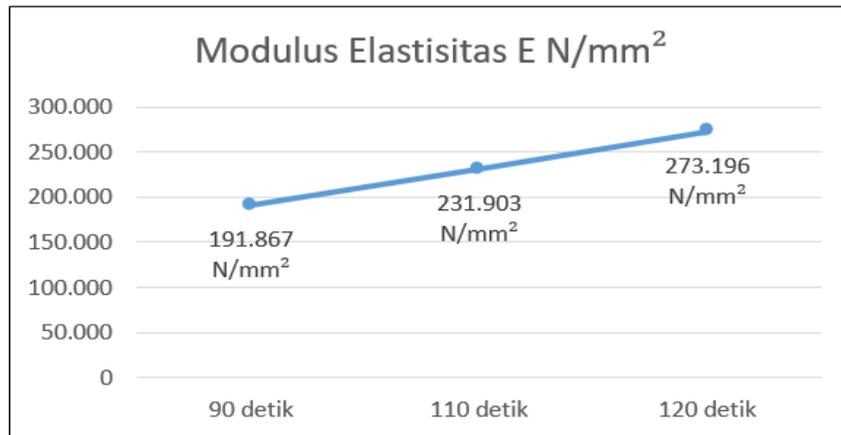
Gambar 6. Grafik Tegangan
 (Sumber: Olahan Peneliti, 2024)

Berdasarkan grafik di atas, nilai tegangan tertinggi ditemukan pada variasi waktu penyambungan 120 detik, mencapai 72.124 N/mm², sedangkan nilai tegangan terendah tercatat pada variasi waktu 90 detik, yaitu 28.972 N/mm². Perbedaan nilai tegangan ini menunjukkan bahwa waktu penyambungan mempengaruhi kekuatan sambungan secara signifikan. Nilai tegangan yang lebih tinggi pada variasi waktu 120 detik menunjukkan bahwa sambungan yang dihasilkan lebih kuat dan mampu menahan beban yang lebih besar sebelum mengalami kegagalan. Sebaliknya, nilai tegangan yang lebih rendah pada variasi waktu 90 detik mengindikasikan sambungan yang kurang kuat, mungkin karena waktu penyambungan yang terlalu singkat tidak memberikan cukup waktu untuk proses pemanasan dan pencampuran material secara optimal. Hal ini menunjukkan pentingnya penyesuaian waktu penyambungan untuk mencapai kualitas sambungan yang diinginkan.



Gambar 7. . Grafik Regangan
 (Sumber: Olahan Peneliti, 2024)

Berdasarkan grafik di atas, nilai regangan tertinggi ditemukan pada variasi waktu 120 detik, dengan nilai mencapai -2.64 N/mm^2 . Sebaliknya, nilai regangan terendah teramati pada variasi waktu 90 detik, yaitu -1.51 N/mm^2 . Perbedaan nilai regangan ini menunjukkan bahwa sambungan dengan waktu penyambungan yang lebih lama (120 detik) mengalami deformasi yang lebih besar sebelum gagal dibandingkan dengan sambungan pada waktu penyambungan yang lebih singkat (90 detik). Regangan yang lebih tinggi pada variasi waktu yang lebih lama bisa mengindikasikan bahwa sambungan tersebut lebih fleksibel atau lebih mampu menahan deformasi tanpa pecah, yang mungkin disebabkan oleh peningkatan suhu dan lelehan material yang lebih besar selama proses pengelasan. Sebaliknya, nilai regangan yang lebih rendah pada waktu penyambungan yang lebih singkat menunjukkan bahwa sambungan tersebut kurang mampu menahan deformasi sebelum mengalami kegagalan. Perbedaan ini menggarisbawahi pentingnya mengoptimalkan waktu penyambungan untuk mencapai keseimbangan antara kekuatan dan fleksibilitas sambungan.



Gambar 8. Grafik modulus elastisitas
 (Sumber: Olahan Penelit, 2024)

Berdasarkan grafik yang ditampilkan, nilai modulus elastisitas tertinggi ditemukan pada variasi waktu penyambungan 120 detik, yaitu sebesar -27.3196 N/mm^2 . Sebaliknya, nilai terendah tercatat pada variasi waktu 90 detik dengan nilai sebesar -19.1867 N/mm^2 . Hasil ini menunjukkan bahwa sambungan yang dilakukan dengan waktu penyambungan 120 detik memiliki modulus elastisitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan waktu penyambungan 90 detik. Modulus elastisitas yang lebih tinggi pada waktu penyambungan yang lebih lama mengindikasikan bahwa sambungan tersebut

lebih kaku dan memiliki kemampuan untuk menahan deformasi lebih besar sebelum mengalami kerusakan. Sebaliknya, nilai modulus elastisitas yang lebih rendah pada waktu penyambungan yang lebih singkat menunjukkan bahwa sambungan tersebut kurang kaku dan mungkin lebih mudah mengalami deformasi. Perbedaan ini bisa jadi disebabkan oleh variasi dalam distribusi panas dan sifat material selama proses pengelasan, yang mempengaruhi kekuatan dan kekakuan sambungan akhir.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis data yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa pengelasan friction welding pada aluminium 6061 dengan variasi waktu penyambungan menunjukkan perbedaan signifikan dalam nilai tegangan dan regangan. Pengelasan dengan waktu penyambungan 120 detik menghasilkan tegangan tertinggi sebesar 72.124 N/mm^2 dan regangan sebesar -2.64% , sedangkan waktu penyambungan 90 detik menghasilkan tegangan dan regangan terendah, masing-masing sebesar 28.972 N/mm^2 dan -1.51% . Hasil ini menunjukkan bahwa variasi waktu penyambungan mempengaruhi kekuatan dan deformasi sambungan secara signifikan. Untuk meningkatkan kualitas dan relevansi penelitian di masa mendatang, disarankan agar variasi waktu gesekan dan kecepatan putaran rpm diperluas dalam eksperimen berikutnya. Selain itu, membandingkan hasil uji tarik antara spesimen yang telah melalui proses friction welding dan spesimen yang tidak menjalani proses tersebut dapat memberikan wawasan tambahan mengenai efektivitas metode pengelasan. Pengujian tambahan dengan metode selain uji tarik juga perlu dilakukan untuk memperoleh gambaran yang lebih komprehensif mengenai sifat mekanik sambungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Wicaksana, H., Mulyadi, S. dan Syuhri, A. 2016. Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Sambungan Las Aluminium 6061 Hasil Friction Welding. *Jurnal Rotor*. Vol. 9, No. 1.
- Fahmi rizal muhammad. "pengaruh sudut chamfer dan friction time terhadap luas penampang memanjang flash sambungan las gesek A6061 dengan simulasi FEM." 2017. *Jurnal. Universitas Brawijaya*.
- Serope & Steven R. Oswald, Kalpakjian. 2020. Analisis Sifat Fisik dan Mekanik pada Sambungan Las Gesek Dua Jenis Material Aluminium dan Tembaga dengan Variasi Putaran. *Jurnal Momentum*.
- Dzulfikar, M., Purwanto, H. dan Munif, M.A. 2020. Pengaruh Tekanan terhadap Sifat Mekanik dan Mikrostruktur pada Sambungan Las Gesek Aluminium AA1100. *Seminar nasional teknoka*. Vol. 5, No. 2502-8782.
- Putra, I. dan Arwizet. 2019. Analisis Kekuatan Tarik dan Impact Hasil Sambungan Las Gesek pada Baja ST37. *Journal of Multidisciplinary Research and Development*. Vol. 1, No.4.
- Anggraini, L. dan Saputra, B.S. 2019. Sifat Mekanis dan Struktur Mikro pada Sambungan Las Gesek Baja SCM415H Untuk Aplikasi Poros Roda Belakang Mobil. *Rekayasa Mesin*. Vol.10, No. 2.
- Sai'in, A. dan Muzaki, M. 2020. Pengaruh Kecepatan Putar, Gaya Gesek dan Waktu Gesek Terhadap Struktur Mikro dan Laju Korosi Hasil Pengelasan Proses Las Gesek Material Berbeda Baja SUH 3 dan SUH 35. *Jurnal Rekayasa Mesin*. Vol.15, No.1.
- Haryanto, P., Ismail, R., Jamari dan Nugroho, S. 2011. Pengaruh Gaya Tekan, Kecepatan Putar, dan Waktu Kontak pada Pengelasan Gesek Baja ST60 Terhadap Kualitas. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi*. Fakultas Teknik, Universitas Wahid Hasyim Semarang.
- Yusra M. Nur, Rifelino, Jasman, Hendri Nurdin. 2021 "Analisa Kekuatan Tarik Hasil Sambungan Pengelasan Gesek Pada Baja ST42" *Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang*.
- Sigied Prasetyono dan Ir. Hari Subiyanto.M.Sc. 2017 "Pengaruh durasi gesek, tekanan gesek dan tempa terhadap impact strenght sambungan las gesek pada baja karbon AISI 1045" *Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi*.

Maman Sulaeman, Haris Budiman, Engkos Koswara. 2012 “Proses uji dimensi, uji kekerasan dengan dimensi Rockwell dan uji komposisi pada cangkul dibalai besar logam dan mesin (bbl)” Program studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Majalengka.