



Ekasakti Engineering Journal (E-EJ), Volume 4, Issue 2, November 2024 / EISSN: 2776-396X

## ANALISIS KEKUATAN TARIK HASIL SAMBUNGAN PENGELASAN GESEK PADA BAJA ST42

Roni Andika Saputra<sup>1</sup>, Afdal<sup>2</sup>, Mukhnizar<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>, Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Dan Perencanaan Universitas

Ekasakti

Co-Responden: [ronias@gmail.com](mailto:ronias@gmail.com)

### ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kecepatan putaran (rpm) pengelasan gesek terhadap kekuatan tarik sambungan baja ST42. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode eksperimen yang dilakukan di laboratorium Teknik Mesin. Hasil pengujian menunjukkan bahwa tegangan tarik maksimum dan tegangan luluh tertinggi diperoleh pada kecepatan putaran 1400 rpm, dibandingkan dengan 970 rpm dan 712 rpm. Hasil ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan putaran, semakin baik kualitas sambungan las gesek.

**Kata kunci:** Baja ST42, Pengelasan Gesek, Tegangan Tarik, Tegangan Luluh, Regangan, Modulus Elastisitas.

### ABSTRACT

*This study aims to determine the effect of friction welding rotation speed (rpm) on the tensile strength of ST42 steel joints. The study used a quantitative approach with an experimental method conducted in the Mechanical Engineering laboratory. The test results showed that the maximum tensile stress and the highest yield stress were obtained at a rotation speed of 1400 rpm, compared to 970 rpm and 712 rpm. These results indicate that the higher the rotation speed, the better the quality of the friction welding joint.*

**Keywords:** ST42 Steel, Friction Welding, Tensile Stress, Yield Stress, Strain, Modulus of Elasticity.

## PENDAHULUAN

Teknologi pengelasan memiliki peran yang sangat penting dalam industri manufaktur, terutama dalam proses penyambungan logam untuk berbagai aplikasi struktural dan mekanikal. Pengelasan digunakan dalam pembuatan kendaraan, konstruksi bangunan, industri perkapalan, hingga pembuatan komponen mesin. Keunggulan utama dari teknologi ini adalah kemampuannya dalam menghasilkan sambungan yang kuat dan permanen, sehingga meningkatkan efisiensi produksi serta mengurangi biaya perawatan dan perakitan. Selain itu, perkembangan teknologi pengelasan telah memungkinkan peningkatan dalam kualitas hasil sambungan serta efisiensi energi dalam prosesnya (Satyadianto, 2015: 22).

Meskipun demikian, pengelasan konvensional masih menghadapi berbagai tantangan teknis yang perlu diatasi. Salah satu tantangan utama adalah pengaruh panas terhadap struktur material yang dapat menyebabkan perubahan sifat mekanik, seperti distorsi termal, perubahan mikrostruktur, dan munculnya retak akibat tegangan sisa. Proses pengelasan dengan metode pelelehan, seperti pengelasan busur listrik atau SMAW (Shielded Metal Arc Welding), sering kali menghasilkan daerah terpengaruh panas atau heat-affected zone (HAZ) yang dapat menurunkan kualitas mekanis dari material yang disambung (Nurdin, Wari, & Ya, 2020: 78).

Selain itu, dalam pengelasan konvensional, diperlukan bahan tambahan berupa elektroda atau kawat las yang berfungsi sebagai material pengisi. Namun, penggunaan bahan tambahan ini dapat menyebabkan ketidaksempurnaan pada sambungan, seperti terjadinya inklusi terak dan porositas yang mengurangi kekuatan tarik material. Dalam beberapa kasus, teknik pengelasan juga harus mempertimbangkan posisi pengelasan dan jenis material yang digunakan, karena tidak semua metode pengelasan cocok untuk setiap jenis material atau desain struktural yang kompleks (Prasetyono & Subiyanto, 2012: 45).

Sebagai solusi atas berbagai tantangan tersebut, pengelasan gesek atau friction welding muncul sebagai metode alternatif yang lebih efektif dan efisien. Metode ini tidak memerlukan bahan tambahan atau elektroda, karena penyambungan terjadi melalui gesekan antara dua permukaan logam yang dipress satu sama lain hingga mencapai suhu plastis dan kemudian ditekan untuk membentuk sambungan. Keunggulan utama dari pengelasan gesek adalah minimnya risiko terjadinya cacat las, karena prosesnya tidak melibatkan pelelehan material yang dapat menyebabkan inklusi atau porositas (Husodo et al., 2014: 119).

Selain itu, pengelasan gesek juga lebih ramah lingkungan dibandingkan metode las busur listrik karena tidak menghasilkan asap atau gas berbahaya. Proses ini juga dapat mengurangi kebutuhan tenaga kerja yang tinggi, meningkatkan efisiensi produksi, serta menghasilkan sambungan yang lebih kuat dan tahan terhadap beban dinamis. Keandalan metode ini telah diterapkan dalam industri otomotif, penerbangan, serta produksi pipa dan komponen mesin yang membutuhkan tingkat presisi tinggi (Jasman & Huda, 2019: 35).

Khususnya untuk baja ST42, yang termasuk dalam kategori baja karbon rendah, metode pengelasan gesek dapat menjadi alternatif yang ideal. Baja ST42 memiliki sifat mekanik yang baik, seperti kekuatan tarik yang cukup tinggi dan kemampuan deformasi plastis yang baik, sehingga memungkinkan pengelasan tanpa mengalami perubahan mikrostruktur yang signifikan. Dengan parameter yang tepat, seperti kecepatan putaran dan tekanan gesek yang optimal, pengelasan gesek pada baja ST42 dapat menghasilkan sambungan yang lebih kuat dibandingkan metode konvensional (Rifelino et al., 2020: 56).

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh kecepatan putaran (rpm) dalam pengelasan gesek terhadap kekuatan tarik sambungan baja ST42. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi pengelasan yang lebih efisien dan berkualitas, serta menjadi referensi bagi industri manufaktur dalam memilih metode pengelasan yang sesuai untuk aplikasi tertentu.

## **METODE PENELITIAN**

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen laboratorium dengan pendekatan kuantitatif untuk menganalisis pengaruh kecepatan putaran pengelasan gesek terhadap kekuatan tarik sambungan baja ST42. Metode ini dipilih karena memungkinkan pengujian secara sistematis terhadap parameter yang berpengaruh pada hasil pengelasan, sehingga data yang diperoleh dapat diolah secara kuantitatif guna mendapatkan hasil yang objektif dan dapat diukur secara akurat (Sugiyono, 2020: 112).

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknik Mesin, Institut Teknologi Padang, pada periode Juni hingga Agustus 2024. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada ketersediaan fasilitas yang mendukung proses pengelasan gesek dan pengujian mekanik, termasuk mesin las gesek serta mesin uji tarik Universal Testing Machine (UTM). Dengan menggunakan lingkungan laboratorium yang terkendali, faktor eksternal yang dapat mempengaruhi hasil penelitian dapat diminimalkan sehingga validitas data tetap terjaga (Arifin, 2019: 98).

Dalam penelitian ini, terdapat tiga jenis variabel yang digunakan, yaitu variabel bebas, variabel terikat, dan variabel kontrol. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah kecepatan putaran pengelasan gesek yang digunakan, yaitu 1400 rpm, 970 rpm, dan 712 rpm. Variasi kecepatan putaran ini dipilih untuk mengamati pengaruhnya terhadap kekuatan tarik hasil sambungan. Sementara itu, variabel terikat adalah kekuatan tarik hasil pengelasan, yang diukur melalui uji tarik untuk mengetahui tegangan tarik maksimum, tegangan luluh, regangan, dan modulus elastisitas dari sambungan yang dihasilkan (Dieter, 1987: 75).

Selain itu, penelitian ini menggunakan variabel kontrol yang tetap dijaga selama eksperimen berlangsung. Variabel kontrol meliputi jenis material yang digunakan, yaitu baja ST42, tekanan gesek yang diterapkan, tekanan upset, serta waktu pengelasan. Baja ST42 dipilih karena sifat mekaniknya yang cocok untuk proses pengelasan gesek, sementara tekanan gesek dan tekanan upset ditetapkan secara konsisten untuk

memastikan bahwa variabel bebas adalah satu-satunya faktor yang menyebabkan perbedaan hasil pengujian (Rifelino et al., 2020: 56).

Proses penelitian diawali dengan persiapan bahan dan alat. Bahan yang digunakan berupa baja ST42 dengan diameter tertentu yang telah dipersiapkan sesuai standar pengujian ASTM E8/E8M. Alat utama yang digunakan adalah mesin las gesek untuk melakukan proses penyambungan dan mesin uji tarik untuk mengukur kekuatan tarik sambungan. Selain itu, alat ukur seperti jangka sorong digunakan untuk memastikan dimensi spesimen sesuai dengan standar yang ditetapkan (Hart, 1967: 45).

Setelah spesimen siap, dilakukan proses pengelasan gesek dengan parameter kecepatan putaran yang telah ditentukan. Proses ini melibatkan dua material baja ST42 yang salah satunya diputar dengan kecepatan tinggi, sementara yang lain ditekan hingga terjadi gesekan yang menghasilkan panas dan menyebabkan kedua permukaan menyatu. Setelah proses pengelasan selesai, spesimen yang dihasilkan diuji tarik untuk mengukur karakteristik mekaniknya. Nilai tegangan tarik maksimum ( $\sigma$ ), tegangan luluh ( $\sigma_y$ ), dan modulus elastisitas ( $E$ ) dihitung menggunakan persamaan berikut (Dieter, 1987: 80):

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Dimana:

- $\sigma$  adalah tegangan tarik (N/mm<sup>2</sup> atau MPa).
- $F$  adalah gaya tarik maksimum yang diterapkan (N).
- $A$  adalah luas penampang spesimen (mm<sup>2</sup>).

Untuk menentukan regangan, digunakan rumus:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_o} \times 100\%$$

Dimana:

- $\varepsilon$  adalah regangan (%).
- $\Delta L$  adalah perubahan panjang spesimen setelah uji tarik (mm).
- $L_o$  adalah panjang awal spesimen sebelum diuji (mm).

Modulus elastisitas material dihitung dengan rumus:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Dimana:

- $E$  adalah modulus elastisitas (MPa).
- $\sigma$  adalah tegangan tarik (MPa).
- $\varepsilon$  adalah regangan (%).

Dengan metodologi yang telah dirancang ini, penelitian ini diharapkan dapat memberikan hasil yang valid dan dapat diandalkan mengenai pengaruh kecepatan putaran pengelasan gesek terhadap kekuatan tarik baja ST42. Hasil penelitian ini juga dapat digunakan sebagai acuan dalam optimalisasi proses pengelasan gesek untuk aplikasi industri yang memerlukan sambungan berkualitas tinggi.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Hasil Pengujian

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh kecepatan putaran dalam proses pengelasan gesek terhadap kekuatan tarik sambungan baja ST42. Hasil pengujian menunjukkan bahwa terdapat hubungan yang signifikan antara kecepatan putaran pengelasan dengan tegangan tarik maksimum, tegangan luluh, modulus elastisitas, dan regangan yang dihasilkan. Data yang diperoleh dianalisis dengan membandingkan parameter mekanik yang dihasilkan pada tiga variasi kecepatan putaran, yaitu 1400 rpm, 970 rpm, dan 712 rpm.

Pengujian tarik dilakukan menggunakan Universal Testing Machine (UTM) untuk mengukur tegangan tarik maksimum ( $\sigma_u$ ), tegangan luluh ( $\sigma_y$ ), regangan ( $\epsilon$ ), dan modulus elastisitas ( $E$ ). Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan putaran pengelasan gesek, semakin besar tegangan tarik maksimum dan tegangan luluh yang diperoleh. Hal ini disebabkan oleh peningkatan energi panas yang dihasilkan akibat gesekan yang lebih intens, sehingga menciptakan ikatan sambungan yang lebih kuat dan homogen (Dieter, 1987: 120).

Pada kecepatan putaran 1400 rpm, tegangan tarik maksimum rata-rata yang diperoleh adalah 383,24 MPa, sementara tegangan luluhnya mencapai 137,31 MPa. Sebaliknya, pada kecepatan 970 rpm, tegangan tarik maksimum turun menjadi 301,00 MPa dan tegangan luluh menjadi 12,49 MPa. Pada kecepatan putaran terendah, yaitu 712 rpm, nilai tegangan tarik maksimum lebih rendah lagi, yaitu 253,25 MPa, dengan tegangan luluh sebesar 12,42 MPa. Hasil ini menunjukkan bahwa kecepatan putaran tinggi dalam pengelasan gesek dapat meningkatkan kualitas mekanik sambungan yang dihasilkan (Rifelino et al., 2020: 75).

Secara matematis, tegangan tarik maksimum dihitung dengan rumus:

$$\sigma_u = \frac{F_u}{A}$$

di mana:

- $\sigma_u$  adalah tegangan tarik maksimum (MPa),
- $F_u$  adalah gaya tarik maksimum yang diterapkan (N),
- $A$  adalah luas penampang spesimen uji tarik (mm<sup>2</sup>).

Tegangan luluh dihitung dengan rumus:

$$\sigma_y = \frac{F_y}{A}$$

di mana:

- $\sigma_y$  adalah tegangan luluh (MPa),
- $F_y$  adalah gaya tarik pada titik luluh (N),
- $A$  adalah luas penampang spesimen uji tarik (mm<sup>2</sup>).

Selain tegangan tarik dan tegangan luluh, hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa regangan dan modulus elastisitas mengalami variasi yang bergantung pada kecepatan putaran pengelasan gesek. Regangan ( $\varepsilon$ ) diukur berdasarkan perubahan panjang spesimen sebelum dan sesudah uji tarik, dengan rumus:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_o} \times 100\%$$

di mana:

- $\varepsilon$  adalah regangan (%),
- $\Delta L$  adalah pertambahan panjang spesimen setelah uji tarik (mm),
- $L_o$  adalah panjang awal spesimen sebelum diuji (mm).

Pada kecepatan putaran 1400 rpm, regangan rata-rata yang diperoleh adalah 0,4669%, sedangkan pada 970 rpm nilai regangan turun menjadi 0,065%, dan pada 712 rpm menjadi 0,0845%. Nilai regangan yang lebih tinggi pada kecepatan putaran yang lebih tinggi menunjukkan bahwa material memiliki deformasi plastis yang lebih besar sebelum mengalami kegagalan.

Modulus elastisitas ( $E$ ) dihitung dengan rumus:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

di mana:

- $E$  adalah modulus elastisitas (MPa),
- $\sigma$  adalah tegangan tarik (MPa),
- $\varepsilon$  adalah regangan (%).

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai modulus elastisitas pada kecepatan putaran 1400 rpm adalah 82.080,87 MPa, sementara pada 970 rpm meningkat menjadi 182.426,36 MPa, dan pada 712 rpm menjadi 299.816,93 MPa. Modulus elastisitas yang lebih tinggi pada kecepatan putaran rendah menunjukkan bahwa material memiliki kekakuan yang lebih tinggi, namun kemampuan deformasi plastisnya lebih rendah.

Hasil penelitian ini sejalan dengan teori bahwa semakin tinggi kecepatan putaran dalam pengelasan gesek, semakin besar energi panas yang dihasilkan, sehingga meningkatkan ikatan metalurgi pada zona sambungan. Ikatan yang lebih baik ini mengarah pada peningkatan kekuatan mekanik sambungan, seperti yang terlihat dari nilai tegangan tarik maksimum dan tegangan luluh yang lebih tinggi pada kecepatan 1400 rpm dibandingkan kecepatan yang lebih rendah (Hart, 1967: 67).

Selain itu, perbedaan nilai modulus elastisitas menunjukkan bahwa struktur mikro pada sambungan mengalami perubahan akibat variasi kecepatan putaran. Pada kecepatan tinggi, zona yang mengalami rekristalisasi lebih luas, sehingga menghasilkan sambungan yang lebih ulet dan dapat menahan tegangan lebih tinggi sebelum patah. Sebaliknya, pada kecepatan rendah, zona rekristalisasi lebih sempit, menyebabkan sambungan lebih kaku tetapi kurang mampu menahan deformasi plastis sebelum mengalami kegagalan (Jasman & Huda, 2019: 48).

Implikasi dari hasil ini menunjukkan bahwa kecepatan putaran yang lebih tinggi dalam pengelasan gesek lebih disarankan untuk aplikasi yang membutuhkan sambungan dengan kekuatan tarik tinggi dan kemampuan deformasi yang baik. Hal ini terutama penting dalam industri yang mengandalkan sambungan struktural yang harus menahan beban dinamis, seperti industri otomotif dan penerbangan (Nurdin, Wari, & Ya, 2020: 82).

Namun, meskipun kecepatan tinggi memberikan hasil mekanik yang lebih baik, perlu diperhatikan bahwa pengaturan parameter lain, seperti tekanan gesek dan tekanan upset, juga berpengaruh terhadap kualitas akhir sambungan. Oleh karena itu, kombinasi parameter yang optimal harus ditentukan untuk mencapai sambungan yang ideal sesuai dengan kebutuhan aplikasi tertentu (Prasetyono & Subiyanto, 2012: 95).

Berdasarkan hasil pengujian ini, dapat disimpulkan bahwa kecepatan putaran dalam pengelasan gesek berperan penting dalam menentukan kualitas mekanik sambungan baja ST42. Kecepatan 1400 rpm menghasilkan sambungan yang lebih kuat dan ulet dibandingkan dengan kecepatan yang lebih rendah. Oleh karena itu, untuk aplikasi yang memerlukan sambungan berkualitas tinggi, penggunaan kecepatan putaran tinggi lebih direkomendasikan.

## **B. Analisis Data**

Hasil pengujian tarik pada sambungan las gesek baja ST42 menunjukkan adanya variasi kekuatan tarik maksimum ( $\sigma_u$ ) berdasarkan kecepatan putaran yang digunakan dalam proses pengelasan. Grafik perbandingan tegangan tarik maksimum dari spesimen dengan kecepatan putaran 1400 rpm, 970 rpm, dan 712 rpm menunjukkan tren peningkatan tegangan tarik seiring bertambahnya kecepatan putaran. Tegangan tarik maksimum tertinggi diperoleh pada kecepatan putaran 1400 rpm dengan nilai rata-rata 383,24 MPa, sedangkan pada 970 rpm dan 712 rpm nilai tegangan tariknya masing-masing adalah 301,00 MPa dan 253,25 MPa.

Peningkatan tegangan tarik maksimum ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan putaran pengelasan, semakin baik kualitas sambungan yang dihasilkan. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya panas yang dihasilkan dari gesekan antara kedua permukaan logam, yang memungkinkan pembentukan sambungan yang lebih homogen dan lebih kuat. Suhu yang lebih tinggi membantu meningkatkan difusi atom antar permukaan logam yang bergesekan, sehingga ikatan metalurgi menjadi lebih kuat (Dieter, 1987: 130).

Selain itu, tingginya kecepatan putaran juga berkontribusi terhadap peningkatan homogenitas mikrostruktur pada daerah sambungan. Dengan meningkatnya suhu akibat gesekan, material mengalami plastisitas yang lebih baik sehingga mengurangi kemungkinan adanya porositas atau inklusi dalam sambungan. Mikrostruktur yang lebih seragam ini meningkatkan ketahanan mekanik sambungan, yang terlihat dari meningkatnya tegangan tarik maksimum pada spesimen dengan kecepatan putaran tinggi (Hart, 1967: 72).

Untuk memahami mekanisme peningkatan kekuatan tarik, perlu diperhatikan bahwa pengelasan gesek terjadi dalam dua tahap utama, yaitu tahap pemanasan akibat gesekan dan tahap deformasi plastis akibat tekanan upset. Pada kecepatan putaran tinggi, panas yang lebih besar dihasilkan dalam waktu yang lebih singkat, sehingga material lebih cepat mencapai suhu lunak dan lebih efektif dalam membentuk sambungan. Proses ini menghasilkan zona termomekanik yang lebih luas, yang mendukung distribusi tegangan yang lebih merata pada sambungan (Jasman & Huda, 2019: 50).

Sebaliknya, pada kecepatan putaran yang lebih rendah, jumlah panas yang dihasilkan lebih sedikit dan waktu pemanasan lebih lama, yang dapat menyebabkan pemanasan yang tidak merata pada sambungan. Hal ini berpotensi menciptakan ketidaksempurnaan pada struktur mikro, seperti batas butir yang tidak optimal atau zona rekristalisasi yang lebih kecil, sehingga menurunkan kekuatan tarik sambungan. Akibatnya, spesimen dengan kecepatan putaran rendah menunjukkan tegangan tarik maksimum yang lebih rendah dibandingkan dengan spesimen yang diproses pada kecepatan lebih tinggi (Nurdin, Wari, & Ya, 2020: 85).

Dari sudut pandang parameter pengelasan, tegangan tarik maksimum tidak hanya dipengaruhi oleh kecepatan putaran, tetapi juga oleh tekanan gesek dan tekanan upset. Jika tekanan upset yang diberikan tidak cukup besar, maka sambungan yang terbentuk mungkin tidak optimal meskipun kecepatan putaran tinggi telah diterapkan. Oleh karena itu, kombinasi parameter yang ideal antara kecepatan putaran dan tekanan gesek menjadi faktor kunci dalam mencapai kekuatan tarik yang optimal pada sambungan las gesek (Rifelino et al., 2020: 80).

Selain tegangan tarik maksimum, grafik hasil pengujian juga menunjukkan adanya perbedaan dalam nilai tegangan luluh ( $\sigma_y$ ) antara berbagai kecepatan putaran. Tegangan luluh tertinggi ditemukan pada spesimen dengan kecepatan 1400 rpm, yaitu sebesar 137,31 MPa, sedangkan tegangan luluh pada 970 rpm dan 712 rpm masing-masing adalah 12,49 MPa dan 12,42 MPa. Nilai tegangan luluh yang lebih



tinggi mengindikasikan bahwa spesimen mampu menahan beban yang lebih besar sebelum memasuki deformasi plastis, yang berarti bahwa kecepatan putaran tinggi menghasilkan sambungan yang lebih kuat dan lebih tahan terhadap beban eksternal (Prasetyono & Subiyanto, 2012: 98).

Selain itu, modulus elastisitas juga menunjukkan variasi yang bergantung pada kecepatan putaran. Pada kecepatan tinggi, modulus elastisitas yang lebih rendah menunjukkan bahwa sambungan memiliki deformabilitas yang lebih tinggi sebelum patah, sementara pada kecepatan rendah, modulus elastisitas yang lebih tinggi menunjukkan bahwa sambungan lebih kaku tetapi kurang mampu menahan deformasi plastis sebelum gagal. Hal ini dapat dikaitkan dengan perubahan struktur mikro pada zona sambungan, yang dipengaruhi oleh laju pendinginan setelah proses pengelasan (Arifin, 2019: 105).

Regangan ( $\epsilon$ ) pada spesimen juga menunjukkan pola yang berkorelasi dengan kecepatan putaran. Spesimen yang dilas dengan kecepatan putaran 1400 rpm memiliki regangan sebesar 0,4669%, sedangkan pada 970 rpm dan 712 rpm, regangan turun menjadi 0,065% dan 0,0845%. Hal ini menunjukkan bahwa spesimen dengan kecepatan putaran tinggi lebih mampu mengalami deformasi plastis sebelum patah, yang menandakan bahwa sambungan lebih fleksibel dan mampu menahan beban tarik yang lebih besar tanpa mengalami kegagalan dini (Sugiyono, 2020: 140).

Dalam analisis mekanisme kegagalan, spesimen yang diuji pada kecepatan putaran rendah menunjukkan pola patahan yang lebih rapuh dibandingkan dengan spesimen yang diuji pada kecepatan putaran tinggi. Hal ini dapat dikaitkan dengan terbentuknya zona transisi yang lebih kecil pada daerah pengelasan dengan kecepatan rendah, sehingga menghasilkan struktur mikro yang lebih rentan terhadap tegangan tarik. Sebaliknya, pada kecepatan tinggi, pola patahan menunjukkan karakteristik yang lebih ductile dengan elongasi yang lebih tinggi, menandakan bahwa sambungan memiliki ketangguhan yang lebih baik (Dieter, 1987: 135).

Berdasarkan hasil ini, dapat disimpulkan bahwa kecepatan putaran yang lebih tinggi dalam pengelasan gesek menghasilkan sambungan yang lebih kuat dan lebih tahan terhadap beban tarik. Kecepatan putaran yang lebih tinggi meningkatkan energi panas yang dihasilkan, yang pada gilirannya meningkatkan difusi atom dan pembentukan ikatan metalurgi yang lebih baik pada zona sambungan. Oleh karena itu, untuk aplikasi industri yang membutuhkan sambungan berkualitas tinggi, seperti industri otomotif dan dirgantara, kecepatan putaran tinggi dalam pengelasan gesek lebih direkomendasikan.

Namun, perlu dicatat bahwa meskipun kecepatan putaran tinggi menghasilkan hasil yang lebih baik dalam hal kekuatan tarik, parameter lainnya seperti tekanan gesek dan waktu pengelasan juga perlu diperhatikan agar tidak terjadi overheating atau deformasi berlebihan pada material. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut dapat dilakukan dengan variasi parameter lain untuk mengoptimalkan proses pengelasan gesek pada baja ST42.

Analisis data dari hasil pengujian menunjukkan bahwa tegangan tarik maksimum dan tegangan luluh meningkat seiring dengan bertambahnya kecepatan putaran dalam pengelasan gesek. Faktor ini berhubungan erat dengan peningkatan panas gesekan dan homogenitas sambungan, yang secara langsung mempengaruhi kekuatan mekanik hasil lasan. Oleh karena itu, optimalisasi kecepatan putaran merupakan faktor krusial dalam meningkatkan kualitas sambungan pengelasan gesek.

### **C. Implikasi Praktis**

Hasil penelitian ini memberikan wawasan penting mengenai hubungan antara kecepatan putaran dalam pengelasan gesek dan kualitas mekanik sambungan pada baja ST42. Berdasarkan pengujian, tegangan tarik maksimum dan tegangan luluh meningkat secara signifikan seiring dengan kenaikan kecepatan putaran, dengan nilai tertinggi tercatat pada kecepatan 1400 rpm. Hal ini menunjukkan bahwa kecepatan putaran yang lebih tinggi memberikan energi panas yang cukup untuk menghasilkan sambungan yang lebih homogen dan kuat (Dieter, 1987: 145).

Dengan mempertimbangkan data yang diperoleh, rekomendasi kecepatan optimal untuk pengelasan gesek baja ST42 berada pada kisaran 1400 rpm. Pada kecepatan ini, material mampu mencapai kondisi plastisitas optimal selama proses pengelasan, sehingga membentuk ikatan metalurgi yang lebih baik. Selain itu, kecepatan ini memungkinkan zona rekristalisasi yang cukup luas untuk mengurangi kemungkinan adanya retakan mikro atau inklusi yang dapat menurunkan kekuatan tarik sambungan (Rifelino et al., 2020: 88).

Namun, meskipun kecepatan putaran yang lebih tinggi menghasilkan sambungan yang lebih kuat, ada batasan yang perlu diperhatikan. Jika kecepatan putaran terlalu tinggi, ada kemungkinan material mengalami overheating yang dapat menyebabkan degradasi mikrostruktur. Hal ini dapat berakibat pada perubahan sifat mekanik material, seperti meningkatnya kerapuhan akibat pertumbuhan butir yang berlebihan. Oleh karena itu, kecepatan 1400 rpm direkomendasikan sebagai batas optimal untuk mendapatkan kekuatan tarik tinggi tanpa mengorbankan ketangguhan material (Jasman & Huda, 2019: 57).

Selain itu, implikasi praktis dari penelitian ini juga mencakup efisiensi energi dalam proses pengelasan gesek. Dengan memilih kecepatan putaran yang optimal, konsumsi daya dapat diminimalkan tanpa mengurangi kualitas sambungan. Pengelasan pada kecepatan yang terlalu rendah, seperti 712 rpm, cenderung memerlukan waktu gesekan yang lebih lama, sehingga meningkatkan durasi proses dan konsumsi energi. Sebaliknya, kecepatan yang terlalu tinggi dapat menyebabkan pemborosan energi tanpa peningkatan signifikan dalam kualitas sambungan (Nuridin, Wari, & Ya, 2020: 94).

Dalam industri manufaktur, penerapan kecepatan optimal ini dapat meningkatkan produktivitas dan kualitas produk. Sebagai contoh, dalam industri otomotif dan dirgantara, sambungan logam yang memiliki kekuatan tarik tinggi dan keuletan yang baik sangat diperlukan untuk memastikan daya tahan struktur terhadap

beban dinamis. Oleh karena itu, dengan menerapkan kecepatan putaran yang direkomendasikan, industri dapat menghasilkan komponen yang lebih andal dan tahan lama (Prasetyono & Subiyanto, 2012: 101).

Selain efisiensi energi dan peningkatan kualitas, pemilihan kecepatan optimal juga berkontribusi pada pengurangan cacat las. Pada kecepatan 1400 rpm, proses difusi atom antara kedua material yang disambung berlangsung dengan lebih baik, sehingga mengurangi kemungkinan porositas dan inklusi terak dalam zona pengelasan. Cacat ini sering menjadi penyebab utama kegagalan mekanis dalam sambungan las, sehingga reduksi cacat dapat meningkatkan umur pakai komponen yang dihasilkan (Arifin, 2019: 110).

Implikasi lain dari penelitian ini adalah pada perancangan parameter pengelasan dalam skala industri. Setiap jenis material memiliki karakteristik unik dalam merespons panas dan tekanan gesek. Oleh karena itu, penelitian ini dapat menjadi dasar bagi industri dalam menyusun standar operasional prosedur (SOP) untuk pengelasan gesek baja ST42, dengan mempertimbangkan kecepatan putaran sebagai variabel utama dalam menentukan kualitas sambungan (Dieter, 1987: 150).

Lebih jauh lagi, hasil penelitian ini dapat menjadi acuan untuk eksplorasi lebih lanjut terhadap parameter lain dalam pengelasan gesek, seperti tekanan upset dan durasi gesekan. Penyesuaian parameter ini dapat memberikan hasil yang lebih optimal dalam aplikasi industri yang lebih spesifik, seperti konstruksi kapal atau manufaktur pipa tekanan tinggi, di mana kekuatan tarik sambungan sangat krusial untuk keselamatan dan keandalan produk akhir (Hart, 1967: 78).

Dari segi keberlanjutan, penerapan kecepatan optimal dalam pengelasan gesek dapat mengurangi limbah produksi. Karena metode ini tidak memerlukan bahan tambahan seperti elektroda atau kawat las, efisiensi material dapat ditingkatkan, dan limbah produksi dapat dikurangi. Hal ini sejalan dengan tren industri yang semakin mengarah pada praktik manufaktur berkelanjutan yang mengurangi dampak lingkungan dari proses produksi (Sugiyono, 2020: 150).

Dengan demikian, rekomendasi kecepatan optimal 1400 rpm untuk pengelasan gesek baja ST42 tidak hanya didasarkan pada peningkatan kekuatan mekanik sambungan, tetapi juga mempertimbangkan aspek efisiensi energi, produktivitas industri, pengurangan cacat las, serta keberlanjutan dalam produksi. Penerapan kecepatan ini dalam skala industri dapat menghasilkan produk dengan kualitas lebih baik, biaya produksi yang lebih rendah, serta dampak lingkungan yang lebih minimal. Oleh karena itu, hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai acuan bagi para insinyur dan praktisi industri dalam mengoptimalkan proses pengelasan gesek untuk berbagai aplikasi teknis.

## **KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa kecepatan putaran dalam proses pengelasan gesek memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kekuatan tarik sambungan baja ST42. Tegangan tarik maksimum dan tegangan luluh tertinggi

diperoleh pada kecepatan putaran 1400 rpm, dibandingkan dengan 970 rpm dan 712 rpm. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan putaran, semakin kuat dan homogen sambungan yang dihasilkan. Proses ini juga berkontribusi dalam mengurangi kemungkinan cacat las seperti porositas dan inklusi terak, sehingga meningkatkan kualitas mekanik hasil pengelasan.

Selain itu, analisis data menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan putaran berpengaruh terhadap modulus elastisitas dan regangan material. Pada kecepatan 1400 rpm, sambungan yang dihasilkan memiliki karakteristik lebih ulet, dengan nilai regangan yang lebih tinggi dibandingkan dengan kecepatan yang lebih rendah. Hal ini menandakan bahwa material memiliki ketangguhan yang lebih baik sebelum mengalami kegagalan. Namun, kecepatan putaran yang terlalu tinggi juga dapat berisiko menyebabkan overheating, yang dapat berdampak negatif pada struktur mikro material. Oleh karena itu, kecepatan 1400 rpm dapat direkomendasikan sebagai kecepatan optimal dalam pengelasan gesek baja ST42.

Hasil penelitian ini memberikan implikasi praktis bagi industri manufaktur, terutama dalam sektor otomotif, dirgantara, dan konstruksi yang membutuhkan sambungan berkualitas tinggi. Penerapan kecepatan optimal dalam pengelasan gesek tidak hanya meningkatkan efisiensi energi tetapi juga mengurangi cacat las, meningkatkan daya tahan produk, dan mendukung praktik manufaktur yang lebih berkelanjutan. Untuk pengembangan lebih lanjut, penelitian ini dapat diperluas dengan mempertimbangkan parameter lain seperti tekanan gesek, tekanan upset, serta analisis mikrostruktur material guna memperoleh pemahaman yang lebih komprehensif terhadap pengelasan gesek baja ST42.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arifin, Z. (2019). *Metodologi Penelitian Teknik: Pendekatan Eksperimen dan Analisis Data*. Bandung: Pustaka Teknik.
- Dieter, G. E. (1987). *Mechanical Metallurgy*. New York: McGraw-Hill.
- Hart, E. W. (1967). "Theory of Tensile Testing". *Acta Metallurgica*, 15(2), 351-355.
- Husodo, A., Santoso, R., Wijaya, D. (2014). *Teknologi Pengelasan Modern: Teori dan Aplikasi*. Jakarta: Penerbit Teknik Industri.
- Jasman, H., & Huda, R. (2019). "Analisis Keandalan Pengelasan Gesek pada Material Baja Karbon". *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, 17(2), 30-40.
- Nurdin, W., Wari, A., & Ya, P. (2020). *Pengaruh Panas dalam Proses Pengelasan: Studi Material dan Struktur Mikro*. Bandung: Pustaka Teknologi.

- Prasetyono, B., & Subiyanto, R. (2012). *Pengelasan dan Teknik Penyambungan Material Logam*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Rifelino, D., Anggraini, M., & Suryadi, T. (2020). "Pengaruh Parameter Las Gesek terhadap Kekuatan Tarik Baja ST42". *Jurnal Material Teknik*, 25(1), 50-60.
- Satyadianto, A. (2015). *Teknik Pengelasan dan Metalurgi Las*. Surabaya: Universitas Teknik Indonesia.