

**ANALISIS KEKUATAN TARIK HASIL SAMBUNGAN PENGELASAN GESEK  
PADA BAJA ST42****ANALYSIS OF TENSILE STRENGTH RESULTS OF FRICTION WELDING JOINTS  
ON STEEL ST42**

Yusra M. Nur<sup>(1)</sup>, Rifelino<sup>(2)</sup>, Jasman<sup>(3)</sup>, Hendri Nurdin<sup>(4)</sup>  
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang  
Kampus Air Tawar, Padang 25131, Indonesia  
[yusramnur97@gmail.com](mailto:yusramnur97@gmail.com)  
[rie\\_fel@yahoo.com](mailto:rie_fel@yahoo.com)  
[jasmanmesin@yahoo.com](mailto:jasmanmesin@yahoo.com)  
[hens2tm@yahoo.com](mailto:hens2tm@yahoo.com)

**Abstrak**

Pengelasan gesek adalah metode pengelasan dengan menggunakan energi panas yang terbentuk dari pergesekan diantara kedua permukaan material dan / 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. Keuntungan dari pengelasan gesek adalah penghematan logam pengisi, waktu pelaksanaan yang cepat, dapat menyambungkan dua buah material yang sama maupun berbeda, dan menghasilkan kekuatan yang relatif lebih baik. Penelitian ini dilaksanakan untuk mengetahui bagaimana kualitas hasil dari sambungan pengelasan gesek rotari melalui uji tarik. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan melakukan pengelasan gesek berdasarkan kecepatan putaran dan waktu pengelasan. Kecepatan putaran yang digunakan dari 1080 rpm dan 1800 rpm, waktu pengelasan yang digunakan dari 60 detik, 75 detik, dan 90 detik. Spesimen yang digunakan pada penelitian ini merupakan baja st42 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 kecepatan 1800 rpm dan waktu 75 detik dengan nilai kekuatan tarik sebesar 41,523 Kg/mm<sup>2</sup>. Untuk nilai kekuatan tarik terendah didapat dari hasil sambungan las gesek kecepatan 1080 rpm dan waktu 60 detik dengan nilai kekuatan tarik sebesar 37,913 Kg/mm<sup>2</sup>.

**Kata Kunci :** Pengelasan Gesek, Parameter Las Gesek, Kecepatan Putaran, Waktu Pengelasan, Uji Tarik

**Abstract**

*Friction welding is a method of welding using heat energy generated from friction between surfaces of two ends of workpiece and/or the moving tool blade. Parameters of friction welding include rotation speed, welding time and forging pressure. The advantages of friction welding are savings in fill metal, fast execution time, can join two same or different materials, and produce high strength. This study aims to determine the quality of rotary friction welding joint through tensile test. This study uses an experimental method by performing friction welding based on rotation speed and welding time. Rotation speeds used from 1080 and 1800 rpm, welding times used from 60, 75, and 90 seconds. The specimen used in this study is st42 steel with a diameter of 16mm and a length of 150mm. Tensile test used to find out how tensile strength of friction weld joint. For the highest tensile strength from the results of the weld joint, the speed is 1800 rpm and time of 75 seconds with a value of 41.523Kg/mm<sup>2</sup>. For the highest tensile strength from the results of the weld joint, the speed is 1080 rpm and time of 60 seconds with a value of 37.913 Kg/mm<sup>2</sup>.*

**Keywords :** Friction Welding, Parameter of Friction Welding, Rotasion Speed, Welding Time, Tensile Test

**I. Pendahuluan**

Teknologi pengelasan merupakan salah satu metode produksi yang terdapat di industri. Metode pengelasan SMAW banyak digunakan karena dapat digunakan untuk sebagian besar jenis material dan dapat untuk mengelas segala posisi (Jasman and Pratomo 2020). Teknologi pengelasan belakangan ini sangat banyak digunakan, namun banyak masalah

pengelasa yang harus diatasi berkaitan dengan prosedur pengelasan, seperti pengaruh panas yang dapat mengubah struktur material, pengaturan arus pengelasan, cacat las kurang menyatu, dan masih banyak lainnya (Nurdin, Wari, and Ya 2020). Teknologi penyambungan terbagi menjadi dua, yaitu: *Liquid State Welding* dan *Solid State Welding*. *Liquid State Welding* adalah proses penyambungan material dengan cara mencairkan dua buah material secara

bersamaan sehingga dapat menyatu secara merata, contoh yang paling umum adalah las listrik (SMAW), sedangkan *Solid State Welding* adalah proses penyambungan yang pada prosesnya material dipanaskan hingga mendekati titik lebur tidak sampai mencair, contohnya las gesek atau *Friction Welding* (Satyadianto 2015).

Las gesek merupakan pengelasan dengan menggunakan energi panas yang bersumber dari gesekan diantara permukaan material dan/atau mata pahat yang bergerak (Jasman and Huda 2019). Beberapa kelemahan yang ada dalam proses pengelasan dengan menggunakan sistem pencairan atau busur listrik diantaranya besar dimensi ketebalan material pengelasan pada proses penyambungan material berbentuk silinder pejal yang berdiameter relatif besar, maka akan mengalami kesulitan karena proses pengisian las dilakukan secara bertahap agar lapisan material terisi dengan sempurna, jika penetrasi pengisian las tidak sempurna pada kedua permukaan sambungan dapat menurunkan kekuatan mekanis material (Prasetyono and Subiyanto 2012). Untuk mengatasi persoalan tersebut diatas, maka teknik las gesek dapat dijadikan solusi alternatif. Pengelasan gesek adalah metode pengelasan dengan menggunakan energi panas yang bersumber dari pergesekan diantara kedua permukaan material dan/atau mata pahat yang bergerak (Husodo et al. 2014).

Pengelasan gesek dibedakan menjadi tiga metode, yaitu: *Rotari Friction Welding*, *Linear Friction Welding*, dan *Stir Friction Welding* (Vairis 2016). *Rotari Friction Welding* adalah metode paling tua dari las gesek, metode ini juga paling populer di mana salah satu material berputar pada porosnya sementara material kedua berada dalam posisi diam atau stasioner. Kemudian material kedua diberi gaya hingga memberi tekanan ke material pertama dan terjadilah gesekan antar kedua material yang menghasilkan panas untuk proses difusi kedua material tersebut (K. and Putra 2019). *Linear Friction Welding* salah satu metode las gesek yang terjadi akibat panas yang dihasilkan dari gesekan satu material yang bergerak secara linear atau lateral dengan material lainnya. *Stir Friction Welding* merupakan metode las gesek yang energi panas untuk proses pengelasannya dihasilkan dari gesekan antara material dengan mata pahat yang bergerak berputar (Maalekian 2007).

Parameter yang mempengaruhi hasil sambungan dari pengelasan gesek yaitu, kecepatan putaran, waktu pengelasan, dan tekanan tempa (Pah 2018). Teknik rotari friction welding digunakan dalam proses penyambungan kedua material, dengan beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan dalam proses pengelasan agar ketersambungan diantara kedua material dapat terjadi dengan sempurna. Diantaranya kecepatan putaran spindle, waktu pengelasan, gaya

gesek, dan tekanan tempa (Hamid 2016). Kelebihan dari pengelasan gesek adalah hemat logam pengisi, waktu pelaksanaan yang singkat, dapat menyambungkan material yang sama jenisnya ataupun berbeda jenisnya, dan dapat menghasilkan kekuatan yang relatif lebih tinggi dari metode pengelasan lainnya (Wichaksono and Sugiyanto 2014). Metode las gesek digunakan banyak digunakan diberbagai bidang industri seperti perminyakan, otomotif, industri listrik, *aerospace*, dan pertanian. Metode ini digunakan untuk sambungan bodi pesawat dan kapal, serta poros pada *hydraulic cylinder piston* (Salindeho, Soukoto, and Poeng 2018). Penelitian ini adalah baja ST 42 yang mempunyai kekuatan tarik antara 42 kg/mm<sup>2</sup> sampai 45 kg/mm<sup>2</sup>. Baja St 42 merupakan baja karbon rendah disebut juga baja lunak (Rifelino et al. 2020). Kualitas sambungan hasil las gesek perlu untuk diukur melalui uji mekanis seperti uji tarik. Uji tarik merupakan suatu pengujian bahan atau material yang sangat mendasar, dimana pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan maksimum bahan atau material tersebut menahan suatu benda (Hart 1967). Penelitian ini dilakukan untuk dapat mengetahui pengaruh parameter berupa kecepatan putaran spindle pada proses pengelasan dan waktu atau berapa lama proses pengelasan gesek dilakukan terhadap kekuatan tarik suatu hasil pengelasan gesek (Reinhardt, Cornelissen, and Hordijk 1986).

## II. Metode Penelitian

### 1. Jenis Penelitian

Penelitian dilaksanakan menggunakan metode penelitian eksperimen artinya data pada penelitian ini dihasil dari percobaan langsung terhadap spesimen uji yang kemudian diamati dan dianalisa (Sugiyono 2017).

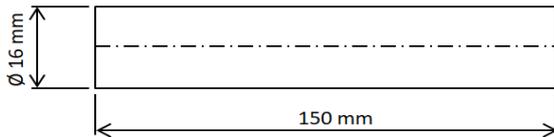
### 2. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Juni sampai Agustus 2020. Untuk pembuatan spesimen uji berupa spesimen las gesek dan spesimen uji tarik dilakukan di Labor Pemesinan Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang. Untuk pengelasan gesek dilakukan di Labor Pemesinan Teknik Mesin Politeknik Negeri Padang. Sedangkan pengujian tarik dilakukan di Labor Pengujian Bahan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.

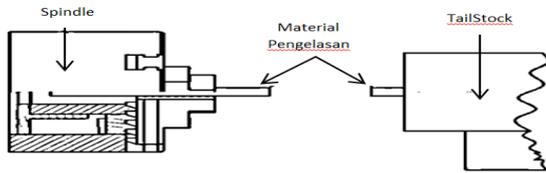
### 3. Alat dan Bahan

Penelitian ini menggunakan mesin bubut MARRO V5 proses pembuatan spesimen sesuai standar ASTM E8 untuk pengujian tarik menggunakan mesin bubut MARRO V5, proses penyambungan las gesek material penelitian mesin bubut PINDAD, dan untuk mengukur kekuatan tarik material digunakan Alat Uji Tarik *Universal Testing Machine*. Spesimen yang di

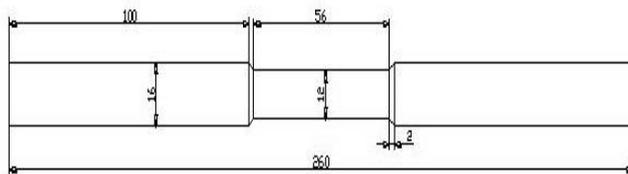
teliti adalah baja St 42, dengan ukuran diameter 16mm dan memiliki panjang 150mm.



**Gambar 2.1** Material Penelitian



**Gambar 2.2** Posisi Material saat Pengelasan Gesek (Rao 2017)



**Gambar 2.3** Spesimen Uji Tarik

Persiapkan bahan berupa baja st42 yang akan digunakan pada proses penelitian. Potong bahan sesuai dengan rancangan penelitian yaitu berdiameter 16mm dan panjang 150 berjumlah 24 batang. Pasang satu spesimen *chuck* sumbu utama dan satu lagi di *chuck drill* pada kepala lepas. Setting kecepatan putaran pada mesin pindad 1080 rpm kemudian lakukan pengelasan gesek sesuai dengan waktu pengelasan yang ditetapkan, yaitu 60 detik, 75 detik, dan 90 detik. Kemudian setting kecepatan pada mesin bubut pindad 1800 dan lakukan pengelasan gesek kembali sesuai dengan waktu pengelasan yang ditetapkan, yaitu 60 detik, 75 detik, dan 90 detik. Hasil dari pengelasan gesek material kemudian dibubut menggunakan mesin bubut Marro V5 untuk membentuk spesimen uji tarik sesuai dengan rancangan yang mengikuti standar ASTM E8 (ASTM 2013). Kemudian dilakukan pengujian tarik dengan alat Uji Tarik *Universal Testing Machine*. Data yang didapat dari uji tarik tersebut kemudian diamati dan dianalisa. Uji tarik dilakukan untuk mengetahui kekuatan tarik material tersebut (Sofyan 2010).

### III. Hasil dan Pembahasan

#### 1. Data Hasil Uji Tarik Raw Material

Penelitian ini menggunakan material baja st42 yang memiliki kekuatan tarik berkisar antara 42 – 45 kg/mm<sup>2</sup> (Syarif 2006), sehingga diperlukan pengujian pada material awal berupa uji tarik untuk memastikan material awal tersebut termasuk dalam klasifikasi baja st42. Hasil uji tarik raw material juga

akan menjadi perbandingan dari nilai kekuatan tarik maksimum antara raw material dan material hasil pengelasan gesek. Spesimen uji tarik raw material berjumlah 3 spesimen yang menggunakan standar ASTM E8 dimana memiliki lebar Ø12mm, panjang daerah pengukuran 56mm dan panjang pengangan 100mm dikedua sisinya menyesuaikan dengan alat uji tarik yang digunakan. Pembuatan spesimen uji tarik raw material dilakukan di Workshop Pemesinan Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang menggunakan mesin bubut maximat dan proses uji tarik raw material dilakukan di Labor Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang menggunakan Alat Uji Tarik Universal. Data yang diperoleh dari hasil pengujian tarik raw material yang digunakan pada penelitian.

**Tabel 3.1** Uji Tarik Raw Material

Kode Spec	D (mm)	L		% Beban	Kekuatan Tarik Maksimum (Kg/mm <sup>2</sup> )	E (Kg/mm <sup>2</sup> )
		L <sub>0</sub>	L <sub>i</sub>			
1	12	56	66,1	18	49000	44,232
2	12	56	66,1	18	48000	43,329
3	12	56	66,2	18	50000	45,135
Rata-rata						44,232
						244,430

Hasil pengujian tarik yang dilakukan terhadap material penelitian ini, dapat di simpulkan bahwa material yang digunakan pada penelitian ini termasuk kategori Baja St42 dengan rata-rata memiliki kekuatan tarik maksimum rata-rata sebesar 44,232Kg/mm<sup>2</sup>.

#### 2. Data Hasil Pengelasan Gesek

Proses pemotongan dan pembuatan spesimen las gesek dilakukan di Labor Pemesinan Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang menggunakan mesin bubut Marro V5. Proses ini meliputi pemotongan material dan facing material. Pengelasan gesek yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan 2 parameter yakni kecepatan putaran (1080 dan 1800 rpm) dan waktu pengelasan (60, 75, dan 90 detik). Proses pengelasan gesek dilakukan di Labor pemesinan Teknik Mesin Poli Teknik Negeri Padang dengan menggunakan Mesin Bubut Pindad. Spesimen uji tarik untuk hasil pengelasan gesek menggunakan standar ASTM E8 dimana memiliki lebar Ø12mm, panjang daerah pengukuran 56mm dan panjang pengangan 75-100mm dikedua sisinya menyesuaikan dengan alat uji tarik yang digunakan dan panjang hasil pengelasan gesek. Pembuatan spesimen uji tarik hasil pengelasan gesek dilakukan di Labor Pemesinan Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang menggunakan

mesin bubut Marro V5 dan perlengkapannya. Proses uji tarik merupakan uji mekanis yang digunakan untuk mengukur kekuatan tarik dari material hasil pengelasan gesek, proses pengujian tarik hasil pengelasan gesek dilakukan di Labor Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang menggunakan Alat *Universal Tensile Machine*(UTM). Data yang diperoleh dari hasil pengujian tarik dengan menggunakan *Universal Tensile Machine*(UTM) pada hasil pengelasan gesek dengan parameter kecepatan putaran dan lama waktu pengelasan berupa grafik dan besaran nilai gaya atau beban yang diterima setiap spesimen uji tarik hasil pengelasan gesek. Data-data tersebut kemudian diilustrasikan dalam tabel sebagai berikut,

**Tabel 3.2 Uji Tarik Hasil Pengelasan Gesek**

Kode Spec	Parameter		L		Beban (N)	Kekuatan Tarik Maksimum (Kg/mm <sup>2</sup> )	Modulus Young (Kg/mm <sup>2</sup> )	
	v	S	Diameter	L <sub>0</sub>				L <sub>i</sub>
1		60	12	56	62,1	42000	37,913	348,056
2	1080	75	12	56	62,3	44000	39,719	353,055
3		90	12	56	62,4	45000	40,621	355,437
4		60	12	56	62,2	43000	38,816	350,596
5	1800	75	12	56	62,5	46000	41,524	357,46
6		90	12	56	62,4	44500	40,170	351,487
Rata-rata							39,794	352,729

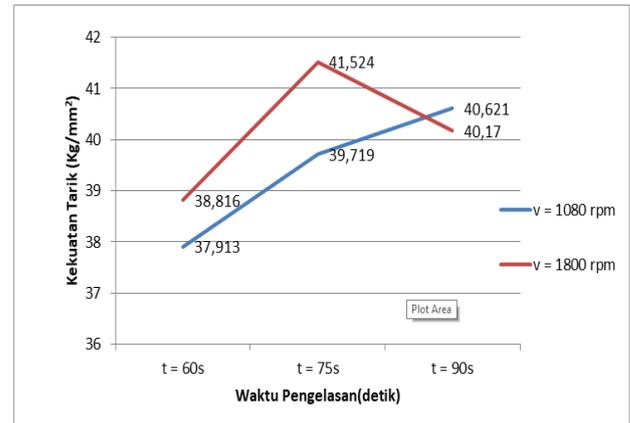
Pengujian tarik spesimen hasil las gesek, maka nilai kekuatan tarik pada material hasil pengelasan gesek sebagai berikut,

- spesimen 1 dengan putaran 1080 rpm dan waktu pengelasan 60s sebesar 37,913 Kg/mm<sup>2</sup>,
- spesimen 2 dengan putaran 1080 rpm dan waktu.pengelasan 75s sebesar 39,719 Kg/mm<sup>2</sup>,
- spesimen 3 dengan putaran 1080 rpm dan waktu.pengelasan 90s sebesar 40,621 Kg/mm<sup>2</sup>,
- spesimen 4 dengan putaran 1800 rpm dan waktu.pengelasan 60s sebesar 38,816 Kg/mm<sup>2</sup>,
- spesimen 5 dengan putaran 1800 rpm dan waktu.pengelasan 75s sebesar 41,524 Kg/mm<sup>2</sup>,
- dan spesimen 6 dengan putaran 1800 rpm dan waktu.pengelasan 90s sebesar 40,170 Kg/mm<sup>2</sup>.

Rata-rata nilai kekuatan tarik hasil pengelasan gesek sebesar 39,794 Kg/mm<sup>2</sup>, atau 90% dari nilai rata-rata kekuatan tarik raw material.

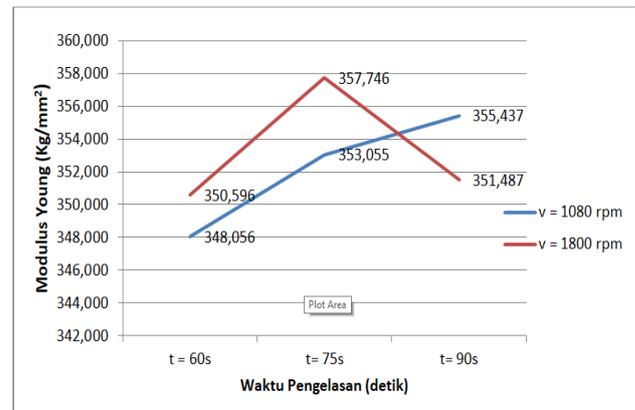
### 3. Pembahasan Hasil Penelitian

Hasil pengujian tarik, material dari pengelasan yang menggunakan kecepatan putaran 1800 rpm menghasilkan nilai kekuatan tarik yang rata-rata lebih besar dari pada yang menggunakan kecepatan 1080 rpm.



**Grafik 3.1 Nilai Kekuatan Tarik**

Kesimpulan bahwa kecepatan putaran 1800 rpm menghasilkan energi yang lebih tinggi sehingga proses difusi lebih maksimal. Dilihat berdasarkan waktu pengelasan gesek, pada kecepatan 1080 rpm hasil kekuatan tarik setiap spesimen meningkat berdasarkan waktu sedangkan pada kecepatan 1800 rpm, hasil kekuatan tarik hasil pengelasan terjadi peningkatan dari spesimen 60s ke 75s tetapi terjadi penurunan pada spesimen 90s, berdasarkan hal ini dapat dilihat bahwa pada spesimen tersebut energi panas yang terjadi pada proses pengelasan berada pada kondisi berlebih sehingga terjadilah penurunan kualitas hasil pengelasan gesek.



**Grafik 3.2 Nilai Modulus Young**

Pengujian tarik spesimen hasil las gesek, maka nilai modulus young dari material hasil pengelasan gesek sebagai berikut,

- spesimen 1 dengan putaran 1080 rpm dan waktu.pengelasan 60s sebesar 348,056 Kg/mm<sup>2</sup>,
- spesimen 2 dengan putaran 1080 rpm dan waktu.pengelasan 75s sebesar 353,055 Kg/mm<sup>2</sup>,
- spesimen 3 dengan putaran 1080 rpm dan waktu.pengelasan 90s sebesar 355,437 Kg/mm<sup>2</sup>,
- spesimen 4 dengan putaran 1800 rpm dan waktu.pengelasan 60s sebesar 350,596 Kg/mm<sup>2</sup>,
- spesimen 5 dengan putaran 1800 rpm dan waktu.pengelasan 75s sebesar 357,746 Kg/mm<sup>2</sup>,
- dan spesimen 6 dengan putaran 1800 rpm dan waktu.pengelasan 90s sebesar 40,170 Kg/mm<sup>2</sup>,

Nilai modulus young hasil pengelasan gesek sebesar  $352,729 \text{ Kg/mm}^2$ , dimana nilai rata-rata dari hasil las gesek lebih besar dari pada nilai modulus young dari raw material sehingga dapat diartikan material hasil pengelasan gesek bersifat lebih kaku dari pada raw material.

#### 4. Komperasi Nilai Kekuatan Tarik

Data diatas rata-rata nilai kekuatan tarik dari hasil pengelasan gesek lebih rendah dari pada rata-rata nilai kekuatan tarik raw materil yang mana kekuatan tarik hasil pengelasan gesek hanya memiliki 90% nilai dari raw material. Nilai kekuatan tarik material hasil las gesek dibanding kekuatan tarik dari raw material disebabkan karena adanya ketidak kontinyuan sambungan yaitu bagian sambungan material las gesek yang tidak sempurna meskipun pada proses *frictioning* pada penyambungan yang diperkirakan akan menghilangkan kekasaran pada permukaan material maupun adanya kotoran yang menempel pada permukaan material yang bergesekan. Adanya ketidak kontinyuan pada permukaan sambungan material dapat menyebabkan kekuatan tarik hasil las gesek menurun, karena efesiensi sambungan las material yang lebih rendah. Ketidak kontinyuan ini dikarenakan tidak sempurnanya proses pengabrasian interface atau pengelupasan permukaan yang akhirnya membentuk lapisan oksida, meskipun selama pada proses pegelasan diberikan tekanan namun masih ada terdapat oksida di bagian tengah yang tidak ikut terkelupas. Hal ini karena pada bagian tengah atau mendekati pusat material kecepatan gerak antar interface relatif kecil bahkan pada daerah titik pusat dari material hampir mendekati nol. Sehingga proses deformasi hanya bergantung pada pemberian tekanan aksial. Kejadian tersebut juga dapat terjadi karena proses penghentian gerakan atau proses pengereman yang kurang tepat selama akhir proses material masih berputar sehingga merusak sambungan material yang terbentuk pada proses friction welding.

#### IV. Kesimpulan

Penelitian tentang analisis kekuatan tarik hasil sambungan las gesek baja st42 ini, proses penyambungan menggunakan metode las gesek rotari mungkin dilakukan menggunakan mesin bubut Pindad dengan beberapa pengaturan, alat bantu, dan metode yang tepat. Besar kecepatan putaran saat proses pengelasan sangat berpengaruh pada waktu pengelasan, semakin besar kecepatan putaran pada proses pengelasan maka semakin besar pula energi panas yang dihasilkan dan semakin singkat waktu pengelasan yang dibutuhkan untuk menghasilkan hasil pengelasan yang maksimal, Akan tetapi jika pengelasan berlangsung terlalu lama dengan menggunakan kecepatan yang tinggi dapat

menurunkan kualitas hasil sambungan las gesek tersebut yang diakibatkan energi yang berlebihan pada proses penyambungan. Dari hasil penelitian ini, kekuatan tarik maximum diperoleh pada kecepatan putaran 1800 rpm dan waktu pengelasan 75 detik yang menghasilkan kekuatan tarik sebesar  $41,524 \text{ Kg/mm}^2$  atau 93,9% dari rata-rata kekuatan tarik raw materialnya. Terjadi penurunan dari kekuatan tarik pengelasan gesek spesimen baja st42 rata-rata sebesar  $39,794 \text{ Kg/mm}^2$  atau 90% dari kekuatan tarik raw material dengan kekuatan tarik rata-rata sebesar  $44,232 \text{ Kg/mm}^2$ . Sedangkan untuk nilai modulus young hasil sambungan pengelasan gesek rata-rata sebesar  $352,729 \text{ Kg/mm}^2$  lebih tinggi dibandingkan dengan modulus young raw material yang rata-rata bernilai  $244,430 \text{ Kg/mm}^2$ , sehingga hasil sambungan pengelasan gesek lebih kaku dibandingkan dengan raw materialnya.

#### Referensi

- ASTM. 2013. "Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials 1."
- Hamid, Abdul. 2016. "Analisa Pengaruh Arus Pengelasan Smaw Pada Material Baja Karbon Rendah Terhadap Kekuatan Material Hasil Sambungan." *Jurnal Teknologi Elektro* 7(1): 26–36.
- Hart, E. W. 1967. "Theory of The Tensile Test." *Acta Metallurgica* 15(2): 351–55.
- Husodo, Nur, Budi Luwar Sanyoto, Sri Bangun, and Setyawati Mahirul. 2014. "Penerapan Teknologi Las Gesek (Friction Welding) Dalam Rangka Penyambungan Dua Buah Logam Baja Karbon St41 Pada Produk Back Spring Pin." *Jurnal Energi Dan Manufaktur* 6(1): 43–52.
- Jasman, and Nusulul Huda. 2019. "Pengaruh Kuat Arus Terhadap Uji Tarik Material Baja Karbon Rendah Menggunakan Metal Inert Gas(MIG)." *Ranah Research* 2(1): 219–29.
- Jasman, and M. Agung Pratomo. 2020. "Pengaruh Variasi Arus Listrik Terhadap Kekuatan Tarik Sambungan Baja Karbon Rendah Dengan Elektroda E7018." *Teknomekanik* 3(1): 9–16.
- K., Arwizet, and Idra Putra. 2019. "Analisis Kekuatan Tarik Dan Impact Hasil Sambungan Las Gesek Pada Baja St37." *Ranah Research* 1(4): 914–20.
- Maalekian, M. 2007. "Friction Welding - Critical Assessment of Literature." *Science and Technology of Welding and Joining* 12(8): 738–59.
- Nurdin, Hendri, Alan Wari, and Kyaw Zay Ya. 2020. "Porosity Defect Analysis in ST 37 Steel Welding Joints Using the Dye Penetrant Method." *Teknomekanik* 3(1): 1–8.

- Pah, Jack Carol Adolf. 2018. "Pengaruh Waktu Dan Tekanan Gesek Terhadap Kekuatan Tarik Sambungan Paduan Aluminium Dan Baja Karbon Pada Pengelasan Gesek Continuous Drive." *Jurnal Rekayasa Mesin* 9(1): 51–59.
- Prasetyono, Sigied., and Hari. Subiyanto. 2012. "Pengaruh Durasi Gesek, Tekanan Gesek Dan Tekanan Tempa Terhadap Impact Strength Sambungan Lasan Gesek Langsung Pada Baja Karbon AISI 1045." *Jurnal Sains Dan Seni Pomits* 1(1): 1–5.
- Rao, P Koteswara. 2017. "Effect of Speed on Hardness in Rotary Friction Welding Process." *International Journal of Materials Science* 12(4): 635–41.
- Reinhardt, Hans W., Hans A. W. Cornelissen, and Dirk A. Hordijk. 1986. "Tensile Tests and Failure Analysis of Concrete." *Journal of Structural Engineering* 112(11): 2462–77.
- Rifelino, Irzal, Doni Hamdani, and Nofri Helmi. 2020. "Conventional Lathe Processes Pengaruh Cutting Condition Terhadap Tingkat Kekasaran Permukaan Baja ST 42 Pada Proses Bubut Konvensional." *Motivection* 2(3): 11–20.
- Salindeho, Robert Denti, Jan Soukota, and Rudy Poeng. 2018. "Pemodelan Pengujian Tarik Untuk Menganalisis Sifat Mekanik Material." *Jurnal Online Poros Teknik Mesin* 2(2): 88–98.
- Satyadianto, Dicky. 2015. "Las Gesek ( Friction Welding ) Dengan Menggunakan Baja Effect of Friction Pressure , Forge Pressure , and Friction Time Variation To Impact Strength in Friction Welding Joint Using Aisi 4140 Alloy." Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Sofyan, Bondan Tiara. 2010. *Pengantar Material Teknik*. Jakarta: Salemba Teknik.
- Sugiyono. 2017. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, Dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Syarief, Achmad. 2006. "Uji Kekerasan Baja Konstruksi St42." *Info Teknik* 7(1): 48–55.
- Vairis, Achilles. 2016. "A Comparison Between Friction Stir Welding, Linear Friction Welding and Rotary Friction Welding." *Advances in Manufacturing* 4(4): 296–304.
- Wichaksono, Hermawan, and Sugiyanto. 2014. "Analisa Dan Hasil Pengelasan Gesek Pada Sambungan Sama Jenis Baja St60, Sama Jenis AISI 201, Dan Beda Jenis Baja St60 Dengan AISI 201." *Jurnal Teknik Mesin S-1* 2(1): 46–53.