

Analisis Kekuatan Mekanik Sambungan Las Gesek pada Baja Karbon Rendah ST-37 Menggunakan Tekanan Hidrolik 15 Bar

¹Ade Irvan Tauvan

¹Politeknik Enjinering Indorama

¹e-mail: ade.irdan@pei.ac.id

Abstrak

Pengelasan gesek (*friction welding*) merupakan salah satu metode penyambungan logam padat tanpa menggunakan logam pengisi (*filler metal*). Proses ini memanfaatkan panas yang dihasilkan akibat gesekan antara dua permukaan logam yang saling ditekan. Panas gesekan tersebut tidak menyebabkan logam mencair, melainkan melunakkan permukaan kontak sehingga memungkinkan terjadinya difusi atom antar material yang disambungkan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan mekanik hasil sambungan pengelasan gesek pada baja karbon rendah tipe ST 37. Sampel uji yang digunakan berupa batang baja ST 37 berdiameter 10 mm. Proses pengelasan gesek dilakukan dengan kecepatan putar sebesar 2374 rpm, tekanan gesek sebesar 15 bar (sekitar 217,557 psi), serta variasi waktu gesekan masing-masing 615, 738, dan 813 detik untuk memperoleh kondisi panas optimum. Pengujian sifat mekanik yang dilakukan meliputi uji tarik dan uji kekerasan guna mengetahui kekuatan sambungan hasil las. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan tekanan tanpa berpengaruh positif terhadap kekuatan tarik sambungan. Nilai kekuatan tarik maksimum yang diperoleh adalah sebesar **62,86 MPa**, sedangkan nilai kekerasan tertinggi mencapai **80 kgf**. Hal ini menunjukkan bahwa metode *friction welding* mampu menghasilkan sambungan logam dengan kekuatan mekanik yang cukup baik tanpa memerlukan bahan tambahan atau proses pencairan logam.

Kata kunci: pengelasan gesek, baja ST 37, kekuatan tarik, kekerasan, *friction welding*

Abstract

Friction welding is a solid-state metal joining method that does not require the use of filler metal. This process utilizes heat generated by the friction between two metal surfaces under axial pressure. The frictional heat does not cause the metals to melt but rather softens the contact surfaces, allowing atomic diffusion between the joined materials. This study aims to determine the mechanical strength of friction-welded joints in low-carbon steel type ST 37. The test specimens used were ST 37 steel rods with a diameter of 10 mm. The friction welding process was carried out at a rotational speed of 2374 rpm, a friction pressure of 15 bar (approximately 217.557 psi), and with varying friction times of 615, 738, and 813 seconds to obtain the optimum heat condition. Mechanical properties testing included tensile and hardness tests to evaluate the joint strength of the welded specimens. The results showed that increasing the upset pressure had a positive effect on the tensile strength of the joint. The maximum tensile strength obtained was 62.86 MPa, while the highest hardness value reached 80 kgf. These findings indicate that the friction welding method can produce metal joints with satisfactory mechanical strength without the need for filler materials or metal melting processes.

Keywords: *friction welding, ST 37 steel, tensile strength, hardness, solid-state joining*

1. PENDAHULUAN

Proses penyambungan logam merupakan bagian penting dalam industri manufaktur, otomotif, konstruksi, dan permesinan. Salah satu metode penyambungan logam yang berkembang pesat adalah pengelasan gesek (*friction welding*), yang termasuk dalam kategori solid-state welding, yaitu proses penyambungan tanpa meleburkan logam dasar [1]. Proses ini didasarkan pada pembangkitan panas melalui gesekan antara dua permukaan benda kerja yang ditekan dengan gaya aksial tertentu sehingga menghasilkan deformasi plastis dan ikatan metalurgi yang kuat [2].

Berbeda dengan proses pengelasan fusi yang memerlukan bahan tambah, fluks, atau gas pelindung, pengelasan gesek menghasilkan sambungan yang relatif bersih karena tidak melibatkan fase cair [3]. Panas yang dihasilkan selama proses berlangsung cukup untuk membuat logam menjadi lunak di daerah kontak tanpa melebur, sehingga struktur mikro di sekitar sambungan dapat dipertahankan [4]. Oleh sebab itu, metode ini sering diaplikasikan pada komponen yang membutuhkan sambungan kuat dan tahan lama seperti poros, batang piston, pipa bertekanan, serta elemen struktural lainnya [5].

Tipe pengelasan gesek yang paling umum adalah rotary friction welding (RFW), di mana salah satu benda kerja diputar pada kecepatan tertentu sementara benda lainnya tetap diam. Gaya aksial diterapkan secara bersamaan untuk menghasilkan panas akibat gesekan dan menekan permukaan agar terbentuk ikatan permanen [6]. Parameter utama yang memengaruhi kualitas sambungan meliputi kecepatan rotasi, tekanan gesek, tekanan tempa, waktu gesek, dan waktu tempa [7]. Kombinasi yang tepat dari parameter-parameter ini sangat menentukan sifat mekanik dan karakteristik metalurgi dari hasil sambungan [8].

Material baja karbon rendah ST 37 (mild steel) merupakan salah satu bahan yang sering digunakan dalam proses pengelasan gesek karena memiliki sifat mampu bentuk yang baik, mudah dikerjakan, serta harga yang ekonomis [9]. Namun demikian, sifat mekanik hasil las seperti kekuatan tarik, kekerasan, dan ketangguhan sangat bergantung pada variasi parameter proses [10]. Beberapa penelitian terdahulu melaporkan bahwa peningkatan kecepatan rotasi dan tekanan gesek dapat meningkatkan suhu antarmuka, memperluas daerah deformasi plastis, dan menghasilkan sambungan dengan kekuatan tarik lebih tinggi [11]. Akan tetapi, jika panas yang dihasilkan terlalu tinggi, hal ini dapat menyebabkan pertumbuhan butir berlebih pada daerah las yang berdampak negatif terhadap kekerasan dan keuletan [12].

Studi mengenai pengaruh parameter pengelasan terhadap sifat mekanik hasil las pada baja ST 37 masih terus dikembangkan parameter proses yang tidak optimal dapat menyebabkan cacat pada sambungan seperti flash yang berlebih, rongga, atau penurunan kekuatan mekanik [13]. Sementara itu, Kahraman [14] menunjukkan bahwa perubahan waktu gesek memiliki pengaruh signifikan terhadap kekerasan daerah las akibat variasi suhu dan tingkat deformasi. Penelitian lain oleh Sahin [15] juga menyatakan bahwa pemilihan kombinasi tekanan dan waktu pengelasan yang tepat dapat menghasilkan struktur mikro homogen serta distribusi kekerasan yang merata di sepanjang daerah sambungan.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis eksperimental terhadap proses pengelasan gesek pada baja ST 37 dengan memvariasikan parameter tekanan gesek, kecepatan rotasi, dan waktu pengelasan. Fokus utama penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh kombinasi parameter tersebut terhadap kekuatan tarik dan kekerasan hasil sambungan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam penentuan parameter optimal untuk menghasilkan sambungan yang kuat dan homogen, serta menjadi referensi praktis bagi industri manufaktur dalam menerapkan proses rotary friction welding pada baja karbon rendah.

2. METODE PENELITIAN

3.1 Bahan dan Peralatan

Penelitian ini menggunakan material baja karbon rendah tipe ST 37 berbentuk batang silinder dengan diameter 10 mm dan panjang 60 mm sebagai bahan uji. Proses penyambungan dilakukan menggunakan mesin las gesek tipe rotary friction welding yang dilengkapi dengan sistem penekanan hidrolik sebesar 15 bar. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. Mesin *friction welding* berkapasitas 15 bar,
2. Thermocouple tipe K untuk pengukuran temperatur selama proses,
3. Mesin uji tarik (*Universal Testing Machine*) sesuai standar SNI 07-8389-2017,
4. Alat uji kekerasan Rockwell (skala B), dan
5. Mikroskop optik untuk observasi struktur patahan.

3.2 Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan melalui beberapa tahapan sebagai berikut:

1. Persiapan Spesimen

Batang baja ST 37 dipotong dengan panjang 60 mm, kemudian kedua ujung permukaannya diratakan dan dibersihkan menggunakan amplas halus serta alkohol untuk menghilangkan kotoran dan oksida.

2. Proses Pengelasan Gesek

Proses *friction rotary welding* dilakukan dengan kecepatan putar 2374 rpm dan tekanan hidrolik 15 bar. Variasi waktu gesek yang digunakan adalah 615 detik, 738 detik, dan 813 detik untuk memperoleh kondisi optimum. Setelah proses pengelasan, spesimen dibiarkan mendingin secara alami (*air cooling*).

3. Pengukuran Temperatur

Temperatur selama proses pengelasan diukur menggunakan *thermocouple* yang dipasang pada sisi luar sambungan untuk mengetahui pengaruh panas gesekan terhadap sifat mekanik sambungan.

4. Uji Kekerasan (Hardness Test)

Uji kekerasan dilakukan menggunakan metode Rockwell (skala B) pada tiga titik: daerah logam dasar (*base metal*), daerah terpengaruh panas (*heat affected zone*), dan daerah las (*weld zone*). Hasil pengujian digunakan untuk menganalisis distribusi kekerasan akibat variasi waktu gesek dan suhu proses.

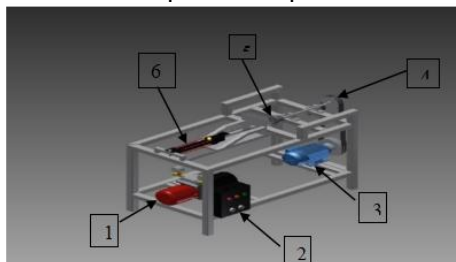
5. Uji Tarik (Tensile Test)

Pengujian tarik dilakukan pada mesin UTM dengan kecepatan regangan sesuai standar SNI 07-8389-2017. Nilai kekuatan tarik maksimum (*ultimate tensile strength*) dicatat untuk menentukan pengaruh parameter pengelasan terhadap kekuatan sambungan.

6. Analisis Data

Data hasil pengujian kekerasan dan uji tarik dianalisis secara kuantitatif. Hubungan antara waktu gesek, suhu, kekerasan, dan kekuatan tarik divisualisasikan dalam bentuk grafik untuk menentukan kondisi optimal sambungan.

Gambar gas *cutting machine* secara detail dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar. 1 Desain alat

Keterangan :

1. Powerpack
2. Panel kelistrikan
3. Motor listrik (1400 rpm, 50 Hz, 1 Hp, 380 VOLT, 220VAC, 99VDC)
4. Pully dan v-belt
5. Chuck
6. Double acting cylinder

2.2 Bahan Uji

Bahan uji yang digunakan adalah baja ST 37 dengan diameter 10 mm dan panjang 300 mm ditunjukkan bahan uji untuk pengelasan gesek baja ST 37 dapat dilihat pada gambar 2



Gambar 2. Baja ST 37

2.3 Parameter Pengelasan Gesek

Parameter pengelasan gesek dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Parameter Pengelasan Gesek

No.	Bahan	Spesimen		Putaran Spindel (rpm)	Tekanan Hidrolik
		Diameter (mm)	Panjang (mm)		
1.	ST 37	10	300	2374	15 bar

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengelasan Gesek

Hasil Pengelasan Gesek dapat dilihat pada tabel 2

Tabel 2. Hasil Pengelasan Gesek

No	Benda Kerja	Putaran Spindel (rpm)	Waktu Gesekan (detik)	Temperatur Maksimum (°C)	Tekanan (bar)
1.	ST 37	2374	615	118	15
2.	ST 37	2374	813	476	15
3.	ST 37	2374	738	412	15

Dari tabel di atas dapat dikatakan bahwa semakin lama waktu yang digunakan semakin tinggi pula temperatur yang dihasilkan. Dan pada material ST 37 terjadi perubahan warna pada daerah HAZ akibat panas dari tekanan dan gesekan.



(a)

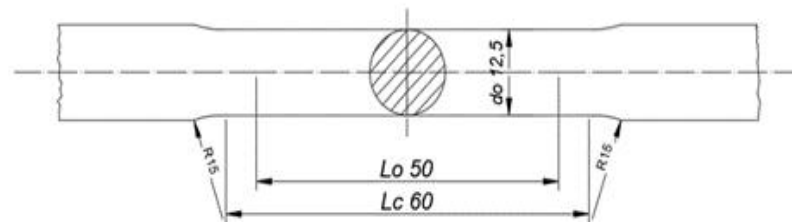
(b)

(c)

Gambar 3. Hasil Sambungan Las Gesek

3.2 Uji Tarik

Pada pengujian tarik kali ini menggunakan 3 buah spesimen baja ST 37 yang sudah dilakukan proses pengelasan dengan metode las gesek dan pada pengujian kali ini standar yang digunakan ialah standar SNI 8389-2017, pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui kekuatan tarik spesimen setelah di las gesek. Dapat dilihat pada gambar 4 dan tabel 3



Gambar 4. Dimensi spesimen uji tarik statis SNI 8389-2017

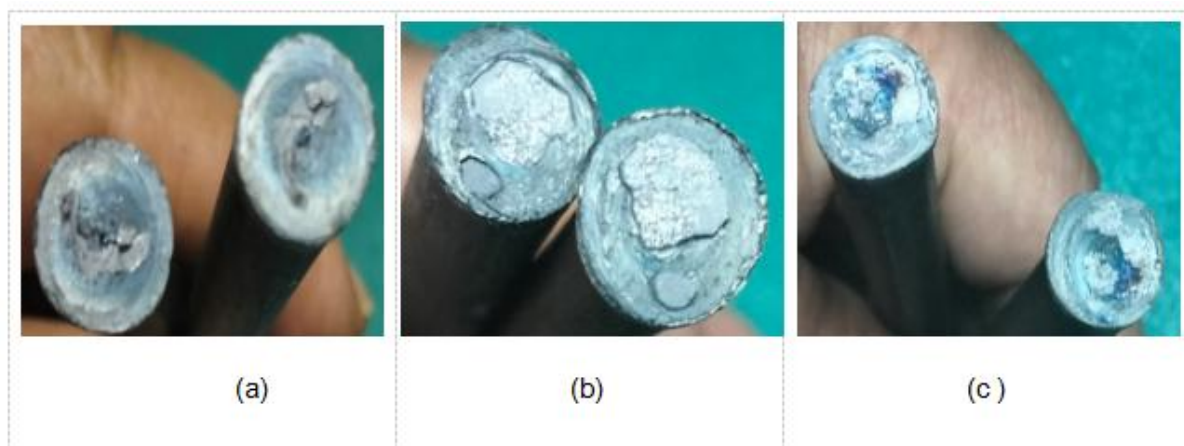
Tabel 3. Hasil Pengujian Tarik

No.	Tegangan (MPa)	Regangan (%)	Temperatur (°C)
1.	10.65	5.01	118
2.	62.86	7.61	476
3.	36.75	6.31	412

Berdasarkan hasil pengujian tarik, diketahui bahwa kekuatan tarik hasil lasan pada proses friction welding lebih rendah dibandingkan dengan kekuatan tarik material dasarnya. Kondisi ini disebabkan oleh adanya *weld discontinuities*, yaitu bagian-bagian pada sambungan las yang mengalami ketidaksempurnaan penyambungan atau cacat las. Cacat tersebut dapat memengaruhi kekuatan serta integritas struktural sambungan las [16].

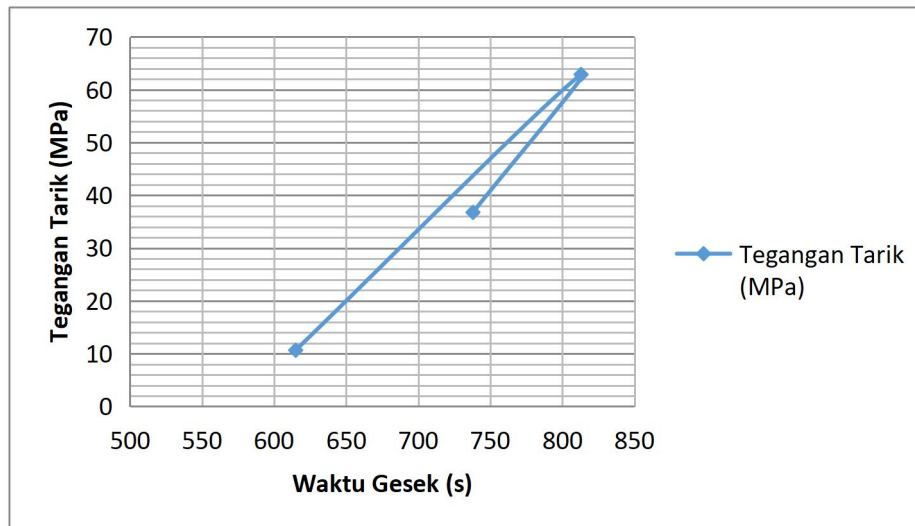
Ketidaksempurnaan sambungan ini umumnya terjadi akibat ketidakkontinuan gaya penekanan selama proses pengelasan, sehingga ikatan antarpermukaan tidak terbentuk secara optimal dan menyebabkan penurunan kekuatan tarik [17]. Selain itu, pada bagian tengah sambungan, kecepatan gesek antarmuka relatif rendah karena posisi spesimen yang tidak stabil atau tidak simetris. Akibatnya, deformasi plastis hanya bergantung pada tekanan aksial yang diberikan

Penurunan kekuatan tarik juga dapat disebabkan oleh cacat struktural pada material dasar, ketidaksempurnaan dalam proses pengelasan, serta tidak digunakannya media pendingin setelah proses pengelasan. Pendinginan alami tanpa media seperti air atau oli mengakibatkan laju pendinginan yang lambat, sehingga perubahan mikrostruktur tidak merata dan menurunkan kualitas ikatan serta kekuatan mekanik sambungan [18], [19].

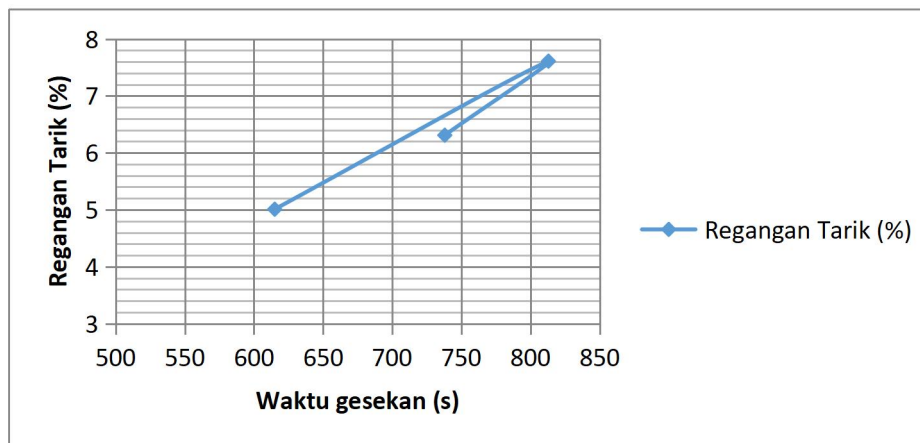


Gambar 4. Hasil Pengujian Tarik

1. Spesimen 1, 2, dan 3 menunjukkan sifat getas (brittle fracture) pada daerah sambungan las gesek. Hal ini dapat diamati dari bentuk patahan yang tampak bersih dan tidak menunjukkan adanya deformasi plastis di sekitar daerah lasan. Kondisi ini mengindikasikan bahwa sambungan mengalami kegagalan secara tiba-tiba tanpa adanya perpanjangan atau regangan yang signifikan sebelum patah.
2. Hasil pengamatan juga menunjukkan bahwa sambungan las tidak terbentuk secara sempurna (incomplete joint) pada seluruh permukaan kontak. Ketidaksempurnaan ini terlihat jelas pada morfologi permukaan patahan, yang menunjukkan area sambungan tidak menyatu secara penuh. Hal tersebut dapat disebabkan oleh distribusi panas dan tekanan aksial yang tidak merata selama proses pengelasan gesek berlangsung.



Gambar 5. Grafik Hubungan Tegangan Tarik Berdasarkan Waktu



Gambar 6. Grafik Hubungan Regangan Tarik Berdasarkan Waktu

3.3 Uji Kekerasan

Tabel 4. Hasil Pengujian Kekerasan

No	Base Metal	HAZ	Lasan	Temp (°C)
1.	73	73,5	43	118
	75	74	73	
Rerata	74	73,75	58	
2.	73	71	79	476

	75	70,5	81	
Rerata	74	70,75	80	
3.	73	74	64,5	
	75	70	75	412
Rerata	74	72	69,75	

Berdasarkan data pada tabel di atas, nilai kekerasan tertinggi pada titik sambungan las diperoleh sebesar 81 HRb, sedangkan nilai kekerasan terendah mencapai 43 HRb. Perbedaan nilai kekerasan pada material yang sama disebabkan oleh variasi waktu gesek dan perbedaan temperatur selama proses pengelasan berlangsung. Variasi tersebut mempengaruhi laju perpindahan panas dan tingkat deformasi plastis di daerah sambungan, yang berdampak langsung terhadap perubahan struktur mikro serta nilai kekerasan material [23].

Untuk logam dasar (base metal) ST 37, nilai rata-rata kekerasan yang diperoleh adalah 74 HRb, yang lebih rendah dibandingkan dengan nilai kekerasan standar baja ST 37 yaitu sekitar 200 HRb. Penurunan nilai kekerasan ini disebabkan oleh efek termal selama proses pengelasan, di mana daerah yang hanya mengalami pemanasan tanpa peleburan mengalami pertumbuhan butir (grain growth) sehingga kekerasannya menurun [24].

Selain itu, selama proses pendinginan, spesimen tidak diberikan media pendingin seperti air atau oli, melainkan dibiarkan mendingin secara alami (*air cooling*). Proses pendinginan yang lambat ini menghambat pembentukan fasa yang lebih keras, sehingga nilai kekerasan tidak mengalami peningkatan signifikan [25]. Proses pengelasan juga diketahui dapat menyebabkan perubahan struktur mikro, termasuk terbentuknya fasa-fasa baru atau perubahan ukuran butir pada daerah *Heat Affected Zone* (HAZ), yang pada akhirnya memengaruhi sifat mekanik material, khususnya sifat kekerasan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian terhadap proses penyambungan baja ST 37 menggunakan metode *friction welding* serta pengujian kekerasan dan uji tarik sesuai dengan standar SNI 8389, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil uji kekerasan menggunakan metode Rockwell menunjukkan bahwa nilai kekerasan tertinggi sebesar 80 kgf diperoleh pada suhu 476°C dengan waktu gesek 813 detik, sedangkan nilai kekerasan terendah sebesar 58 kgf terjadi pada suhu 118°C dengan waktu gesek 615 detik. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan suhu dan waktu gesek berpengaruh positif terhadap nilai kekerasan sambungan las.
2. Hasil uji tarik pada spesimen hasil pengelasan menunjukkan nilai tegangan tarik maksimum sebesar 62,86 MPa pada suhu 476°C selama 813 detik, sedangkan nilai tegangan tarik minimum sebesar 10,65 MPa diperoleh pada suhu 118°C selama 615 detik. Kecenderungan ini menunjukkan bahwa peningkatan energi gesek dan suhu berperan dalam memperbaiki ikatan antarpermukaan logam.
3. Secara umum, hasil pengujian menunjukkan bahwa kekuatan tarik dan kekerasan sambungan masih berada di bawah standar kekuatan material dasar, sehingga kualitas sambungan dinilai belum optimal. Hal ini disebabkan oleh kurang efisiennya proses pengelasan dan ketidaksempurnaan ikatan antarpermukaan. Dengan demikian, metode *friction welding* dalam kondisi parameter yang digunakan pada penelitian ini belum sepenuhnya sesuai untuk penyambungan baja ST 37, dan perlu dilakukan optimasi terhadap parameter tekanan, kecepatan putar, serta waktu gesek untuk memperoleh sambungan yang lebih kuat dan homogen.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan penghargaan dan terima kasih yang sebesar-besarnya atas dukungan serta kontribusi dari berbagai pihak yang telah membantu dalam penyelesaian penelitian ini. Ucapan terima kasih secara khusus disampaikan kepada **Politeknik Enjinering Indorama** atas penyediaan fasilitas laboratorium dan peralatan yang digunakan dalam proses pembuatan dan pengujian

pengelasan gesek . Penelitian ini didukung secara finansial oleh **Program Penelitian Internal LPPM** yang didanai oleh **Yayasan Pendidikan Indorama**

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Shercliff AH, Ashby MF. A process model for friction welding of metals. *Acta Metallurgica et Materialia*. 1990;38(10):1789–1802.
- [2] Tauvana AI, Widodo W. Analisis pemotongan logam ST-37 dengan mesin potong menggunakan gas oxy-LPG. *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin*. 2020;9(1). doi:10.24127/trb.v9i1.1142.
- [3] Pereira MJT, Vilaça P. Analysis of rotary friction welding process parameters. *J Mater Process Technol*. 2011;211(11):1900–1908.
- [4] Khanna SA, et al. Effect of friction time on properties of rotary friction welded low carbon steel joints. *Procedia Eng*. 2017;173:1488–1495.
- [5] Dey GS, Bhaduri AK. Friction welding of dissimilar metals and alloys. *Prog Mater Sci*. 2015;68:1–71.
- [6] Sahin M. Joining of stainless steel and aluminium materials by friction welding. *J Mater Process Technol*. 2004;152(3):438–444.
- [7] Yilmaz A. Effect of friction time on mechanical properties of friction welded joints. *Mater Des*. 2010;31(5):2436–2441.
- [8] Kumar NS, Balasubramanian K. Influence of process parameters on mechanical properties of friction welded joints. *Mater Sci Forum*. 2010;638–642:2399–2404.
- [9] Kahraman S. Effect of welding parameters on the properties of friction welded joints of AISI 1040 steel. *Mater Des*. 2007;28(2):507–513.
- [10] Rakhim A, et al. Mechanical and metallurgical properties of friction welded low carbon steel joints. *Procedia Eng*. 2017;173:1488–1495.
- [11] Selvamani ST, Pradeep P. Experimental investigation on influence of parameters in friction welding of mild steel. *Mater Today Proc*. 2018;5(2):5059–5067.
- [12] Kumar BR, et al. Optimization of friction welding parameters using Taguchi method. *Procedia Eng*. 2014;97:1333–1341.
- [13] Balasubramanian V, Mathivanan G. Influence of process parameters on tensile strength of friction welded joints. *J Eng Sci Technol*. 2009;4(3):305–314.
- [14] Kahraman S. Effect of friction pressure on the properties of friction welded joints. *Mater Des*. 2005;26(4):317–322.
- [15] Sahin M. Evaluation of parameters in friction welding of mild steel to aluminium. *Mater Des*. 2007;28(1):224–231.
- [16] Mortensen KS, Jensen CG, Conrad LC, Losee F. Mechanical properties and microstructures of inertia-friction-welded 416 stainless steel. *Weld J (Miami, Fla)*. 2001;80(11):268–273.
- [17] Laksono HW, Sugiyanto. Analisis hasil pengelasan gesek pada sambungan sama jenis baja ST 60, sama jenis AISI 201, dan beda jenis baja ST 60 dengan AISI 201. *Jurnal Teknik Mesin*. 2014;2(1):46–53.
- [18] Husodo N, Widiyono E, Mursid M, Agista P. Analisis pengaruh tekanan tempa terhadap struktur mikro dan sifat mekanik stainless steel SS304 dengan metode friction welding. *Steman*. 2016;6(2):15–19.
- [19] Rohman F, Qomaruddin, Hudaya AZ. Pembuatan mesin las gesek tipe pneumatik bertenaga motor listrik dengan daya 1 HP. *Crankshaft*. 2021;4(1):47–62.
- [20] Aminuddin RR, Wibawa A, Santoso B, Yudo H. Sebagai bahan poros baling-baling kapal (propeller shaft) setelah proses tempering. *J Tek Perkapalan*. 2020;8(3):368–374.
- [21] Tauvana AI, Widodo W, Subekti MI, Syafrizal S, Nulhakim L. Analysis of ST-37 metal cutting with machine-cut tools using Oxy-LPG. *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*. 2021;1098(6):062099. doi:10.1088/1757-899X/1098/6/062099.
- [22] Tauvana AI, Rachmanu F, Hakim L. Pelatihan pengelasan SMAW IG SMK se-Kabupaten Purwakarta, Karawang dan Bogor. *Bernas: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*. 2021;2(2):546–551. doi:10.31949/jb.v2i2.955.

-
- [23] Kumar S, Singh G, Pandey S. Effect of friction welding parameters on mechanical and microstructural properties of mild steel joints. *Mater Today Proc.* 2018;5(9):19492–19499.
- [24] Surian E, Luna D, Somoza A. Influence of heat input on the mechanical properties and microstructure of structural steels welds. *Weld J.* 2020;99(3):72s–81s.
- [25] Kayaraman M, Sekar M. Analysis of cooling rate influence on hardness and microstructure of carbon steel welds. *J Manuf Process.* 2019;39:383–392

