

**Optimasi Transmisi *Pulley* dan *Belt*
pada Mesin Las Gesek Tipe Putar**

***Optimization of Pulley and Belt Transmission
in Rotary Friction Welding Machine***

SKRIPSI

Oleh:

Nama: Satria Agung Gumelar

NPM: 203030047



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS PASUNDAN
BANDUNG
2024**

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

N a m a : Satria Agung Gumelar
Nomor Pokok Mahasiswa : 203030047
Program Studi : Teknik Mesin FT UNPAS

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Dalam Skripsi yang saya kerjakan ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan/ditulis oleh orang lain untuk memperoleh gelar dari suatu perguruan tinggi,
2. Sepanjang pengetahuan saya, tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis dan diterbitkan oleh orang lain kecuali yang secara tertulis diacu/dikutip/disitasi dalam naskah ini dan disebutkan dalam referensi,
3. Naskah laporan skripsi yang ditulis bukan dilakukan secara *copy paste* dari karya orang lain dan mengganti beberapa kata yang tidak perlu.
4. Naskah laporan skripsi bukan hasil plagiarisme.

Apabila dikemudian hari terbukti bahwa pernyataan ini tidak benar maka saya sanggup menerima hukuman/sanksi apapun sesuai peraturan yang berlaku.

Bandung, 24 Oktober 2024

Penulis,



Satria Agung Gumelar

SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan di bawah ini, sebagai sivitas akademik Universitas Pasundan, saya:

N a m a : Satria Agung Gumelar
NPM : 203030047
Program Studi : Teknik Mesin FT UNPAS
Jenis Karya : Skripsi

Menyatakan bahwa sebagai pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, saya menyetujui memberikan kepada Universitas Pasundan Hak Bebas Royalti Noneksklusif atas karya ilmiah saya yang berjudul:

“Optimasi Transmisi *Pulley* dan *Belt* Pada Mesin Las Gesek Tipe Putar”

Beserta perangkat yang ada (jika ada). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Pasundan berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pakalan data (database), merawat, dan mempublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Bandung, 24 Oktober 2024

Yang menyatakan,



Satria Agung Gumelar

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Optimasi Transmisi *Pulley* dan *Belt* Pada Mesin Las Gesek Tipe Putar



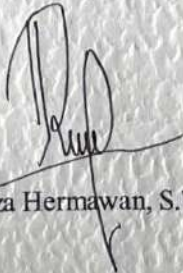
Nama : Satria Agung Gumelar
NPM : 203030047

Pembimbing Utama



Dr. Ir. Ade Bagdja, MME.

Pembimbing Pendamping



Mohammad Reza Hermawan, S.T., M.T.

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Optimasi Transmisi *Pulley* dan *Belt* Pada Mesin Las Gesek Tipe Putar



Nama : Satria Agung Gumelar
NPM : 203030047

Tanggal sidang skripsi: 24 Oktober 2024

Ketua : Dr. Ir. Ade Bagdja, MME.

Sekretaris : Mohammad Reza Hermawan, S.T., M.T.

Anggota : Dr. Ir. Widiyanti Kwintarini, M.T.

Anggota : Ir. Syahbardia, M.T.

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warrahmatullah Wabarakaatuh.

Puji serta syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT karena berkat rahmat dan hidayah-NYA sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Optimasi Transmisi *Pulley* dan *Belt* pada Mesin Las Gesek Tipe Putar” ini dapat diselesaikan guna memenuhi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan pendidikan tingkat Srata-1 pada Program Studi Teknik Mesin Universitas Pasundan.

Dalam penyusunan dan penulisan laporan ini tidak lepas dari bantuan dan bimbingan serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dalam kesempatan ini penulis dengan senang hati menyampaikan terima kasih kepada:

1. Allah SWT atas karunia-Nya yang memberikan kelancaran serta petunjuk dalam proses pembuatan skripsi ini.
2. Kepada orang tua yang senantiasa mendoakan dan memberikan dukungan baik kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
3. Kepada Dr. Ir. Ade Bagdja, MME., selaku pembimbing utama yang telah memberi saran serta bimbingan dalam menyelesaikan skripsi.
4. Kepada Mohammad Reza Hermawan, S.T., M.T., selaku pembimbing pendamping yang telah memberi saran serta bimbingan dalam menyelesaikan skripsi.
5. Novana Noer Alamsyah, S.S.I., yang senantiasa membantu dan mendukung penulis dari awal sampai akhir.
6. Rekan-rekan Teknik Mesin angkatan 2020 dan semua pihak yang terlibat dalam membantu penulis menyelesaikan skripsi ini.

Demi perbaikan selanjutnya masukan, kritik, dan saran yang membangun pada laporan skripsi ini. Akhir kata semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis serta para pembaca dan pihak yang membutuhkan.

Wassalamu'alaikum Warrahmatullah Wabarakaatuh.

Bandung, 24 Oktober 2024

Penulis

DAFTAR ISI

SURAT PERNYATAAN	i
SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	ii
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	iii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL	x
ABSTRAK	xi
ABSTRACT	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1. Latar belakang	1
2. Rumusan masalah	2
3. Tujuan.....	2
4. Manfaat.....	2
5. Batasan masalah.....	3
6. Sistematika penulisan	3
BAB II STUDI LITERATUR	5
1. Kajian Pustaka	5
2. Pengertian Pengelasan	5
A. Pengelasan Cair (<i>Fusion Welding</i>).....	6
B. Pengelasan Padat (<i>Solid State Welding</i>).....	6
3. Pengelasan Gesek (<i>Friction Welding</i>)	6
A. <i>Rotary Friction Welding</i>	7

B. <i>Friction Stir Welding</i>	8
C. <i>Linier Friction Welding</i>	9
4. <i>HAZ Fusion Welding</i>	10
5. <i>HAZ Friction Welding</i>	11
6. Konstruksi Mesin Las Gesek Tipe Putar	12
7. Transmisi <i>Pulley</i> dan <i>Belt</i> Sebelumnya.....	16
A. Perhitungan Torsi Motor Pengerak	16
B. Menghitung Torsi pada Transmisi <i>Pulley</i> dan <i>Belt</i> Sebelumnya	17
8. Transmisi <i>Pulley</i> dan <i>Belt</i> yang Akan Diaplikasikan	17
BAB III METODOLOGI	19
1. Identifikasi Masalah.....	19
2. Studi Literatur.....	20
3. Tahapan Penelitian.....	20
A. Mengevaluasi Mesin Las Gesek Tipe Putar.....	21
B. Menentukan Rancangan Perubahan Rasio Putaran <i>Pulley</i> dan <i>Belt</i>	22
C. Inventarisasi Material dan Komponen yang Diperlukan.....	25
D. Perakitan Transmisi <i>Pulley</i> dan <i>Belt</i> pada Mesin Las Gesek Tipe Putar	26
E. Uji Coba Fungsi	27
4. Alat dan Bahan Penelitian	27
5. Tempat Penelitian.....	28
6. <i>Set Up</i> Pengujian	29
A. Prosedur Pengelasan	29
B. Parameter pengelasan.....	30
7. Bahan dan alat yang digunakan	30
A. Mesin Las Gesek Tipe Putar	30
B. Metode Pengolahan Data Pengujian	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	35

1. Deskripsi Data	35
2. Proses Optimasi	36
A. <i>Pulley</i>	36
B. <i>Belt</i>	37
3. Hasil yang Dicapai.....	37
4. Pengujian Terhadap Aluminium 6061 Ø 15 mm	39
5. Pengujian Terhadap Baja st-37 Ø 15 mm	40
6. Pengujian Terhadap Stainless Steel 201 Ø 15 mm	41
BAB V PENGUJIAN SAMBUNGAN LAS GESEK	44
1. Pengamatan Visual	44
2. Pengujian Patahan Las.....	46
3. Pengujian Mikroskop.....	47
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....	51
1. Kesimpulan.....	51
2. Saran	51
DAFTAR PUSTAKA.....	52
LAMPIRAN A.....	56
LAMPIRAN B.....	59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Skematis Pengelasan	5
Gambar 2. Parameter Pengelasan Gesek.....	7
Gambar 3. Skematis <i>Rotary Friction Welding</i>	8
Gambar 4. Skematis <i>Friction Stir Welding</i>	9
Gambar 5. Skematis <i>Linier Friction Welding</i>	9
Gambar 6. HAZ <i>Fusion Welding</i>	10
Gambar 7. HAZ <i>Friction Welding</i>	11
Gambar 8. Konstruksi Mesin Las Gesek Tipe Putar	12
Gambar 9. Skematis Transmisi <i>Pulley</i> dan <i>Belt</i>	16
Gambar 10. <i>Pulley</i>	17
Gambar 11. <i>Belt</i>	18
Gambar 12. Hasil Pengelasan Baja Ø 10 mm	21
Gambar 13. Hasil Pengelasan Aluminium Ø 10 mm	21
Gambar 14. Tabel Diagram Karpet.....	22
Gambar 15. Tabel Diameter <i>Pitch</i> Minimum.	23
Gambar 16. Panjang V <i>Belt</i> Standar	24
Gambar 17. Lokasi Penelitian.....	28
Gambar 18. Mesin Las Gesek Tipe Putar	31
Gambar 19. Assembly Transmisi <i>Pulley</i> dan <i>Belt</i>	36
Gambar 20. Material Tembaga Gagal Las	38

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Bagian Mesin Las Gesek	13
Tabel 2. Perhitungan Torsi.....	23
Tabel 3. Inventaris Material	26
Tabel 4. Desain Komponen.....	26
Tabel 5. Alat dan Bahan yang Digunakan	28
Tabel 6. Prosedur Pengujian	30
Tabel 7. Bahan yang Digunakan.....	33
Tabel 8. Hasil Pengelasan Sebelumnya	35
Tabel 9. Hasil Pengujian Aluminium Ø 15 mm.....	39
Tabel 10. Hasil Pengujian Baja st-37 Ø 15 mm	40
Tabel 11. Hasil Pengujian Stainless Steel 201 Ø 15 mm	41
Tabel 12. Sifat Material Spesimen.....	42
Tabel 13. Hasil Pengamatan Visual	45
Tabel 14. Hasil Pengujian Patahan Las.....	46
Tabel 15. Hasil Pengujian Mikroskop.....	48

ABSTRAK

Pengelasan gesek (*friction welding*) adalah salah satu metode pengelasan *solid state* di mana panas dihasilkan melalui gesekan antara permukaan benda kerja. Penggunaan teknologi pengelasan gesek semakin berkembang karena kemudahannya dalam pengoperasian, kecepatan proses, tidak memerlukan logam pengisi, serta hasil penyambungan yang baik. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan mesin las gesek tipe putar dengan mengubah rasio transmisi *pulley* dan *belt* untuk meningkatkan kinerja sistem. Mesin las gesek yang digunakan ditenagai motor listrik ac 1 fasa dengan daya 1 hp dan kecepatan 1.400 rpm, menghasilkan torsi sebesar 5,09 Nm pada motor dan 4,44 Nm di *spindle chuck*. Hasil pengelasan hanya efektif pada material Aluminium dan Baja dengan diameter 10 mm, dengan waktu pengelasan masing-masing 30 detik dan 45 detik dan tanpa menghasilkan *flash* pada sambungan las. Optimasi dilakukan dengan perubahan rasio putaran transmisi pada *pulley* dan *belt* dari 0,87:1 menjadi 1,45:1, yang meningkatkan torsi keluaran pada *spindle chuck* dari 4,44 Nm menjadi 7,6 Nm. Pengujian dilakukan pada material Aluminium 6061, Baja st-37, Stainless Steel 201, dan Tembaga dengan diameter 15 mm, menggunakan tekanan 60 psi dan kecepatan motor 1.400 rpm. Namun, pengelasan pada Tembaga tidak berhasil karena konduktivitas termal yang tinggi menyebabkan terjadinya pelapukan pada permukaan yang bergesekan sebelum titik leleh tercapai. Hal dikarenakan Tembaga memiliki konduktivitas termal yang sangat tinggi yaitu 380–400 W/m·K, sehingga panas dari gesekan cepat menyebar ke seluruh material, mengakibatkan daerah yang gesekan tidak dapat mencapai suhu deformasi plastis meskipun koefisien geseknya cukup tinggi sebesar 1,00–1,05, sehingga pengelasan tidak terjadi. Hasil pengamatan visual menunjukkan adanya *flash* pada sambungan Aluminium 6061. Namun, *flash* tidak berhasil terbentuk pada sambungan Baja st-37 dan Stainless Steel 201 dikarenakan perbedaan sifat material dan motor pada mesin las gesek berhenti berputar sebelum proses pengelasan selesai. Hasil uji patahan sambungan menunjukkan persentase luas area patahan berserabut pada material Aluminium 6061 sebesar 93,08%, pada material Baja st-37 sebesar 45,02%, dan pada material Stainless Steel 201 sebesar 42,78%.

Kata kunci: mesin las gesek, *pulley*, *belt*, aluminium 6061, stainless steel 201, baja st-37

(ABSTRACT)

Friction welding is a solid-state welding method in which heat is generated through friction between workpiece surfaces. The application of friction welding technology is growing due to its operational simplicity, quick processing time, lack of filler metal requirement, and high-quality joint results. This research aims to optimizing a rotary type friction welding machine by adjusting the transmission ratio of the pulley and belt to enhance system performance. The friction welding machine used is powered by a 1-phase ac motor with a power output of 1 hp and a speed of 1,400 rpm, producing 5.09 Nm of torque at the motor and 4.44 Nm at the spindle chuck. Welding results are effective only on Aluminum and Steel materials with a diameter of 10 mm, with welding times of 30 and 45 seconds respectively, and without generating flash at the weld joint. Optimization is conducted by modifying the pulley and belt transmission ratio from 0.87:1 to 1.45:1, which increases the output torque on the spindle chuck from 4.44 Nm to 7.6 Nm. Tests are conducted on Aluminum 6061, Steel st-37, Stainless Steel 201, and Copper materials with a diameter of 15 mm, using a pressure of 60 psi and motor speed of 1,400 rpm. However, welding on Copper fails due to its high thermal conductivity, causing surface deterioration at the interface before reaching the melting point. Copper's high thermal conductivity of 380–400 W/m·K quickly disperses heat across the material, preventing the interface area from reaching plastic temperatures despite its relatively high friction coefficient of 1.00–1.05, resulting in an incomplete weld. Visual observations show flash formation on the Aluminum 6061 joint, whereas flash does not form on Steel st-37 and Stainless Steel 201 joints due to material property differences and the motor stopping before welding completion. Fracture testing results show a fractured area of 93.08% fibrous structure on Aluminum 6061, 45.02% on Steel st-37, and 42.78% on Stainless Steel 201.

Keywords: rotary type friction machine, pulley, belt, aluminium 6061, stainless steel 201, baja st-37

BAB I PENDAHULUAN

1. Latar belakang

Pengelasan merupakan metode penyambungan logam yang sering digunakan di bidang teknik dan metalurgi, terutama dalam konteks industri manufaktur. Terdapat beberapa jenis pengelasan yang banyak digunakan, pada umumnya pengelasan dibedakan menjadi dua kelompok utama yaitu: las cair (*fusion welding*) dan las padat (*solid state welding*). *Fusion welding* adalah metode penggabungan dua bahan logam atau lebih dengan cara melelehkannya menggunakan temperatur yang tinggi. Dalam proses ini, logam tersebut dilelehkan hingga membentuk titik penyambungan yang kuat saat dingin. Adapun *solid state welding* adalah metode penggabungan dua atau lebih bahan logam tanpa melelehkan mereka sepenuhnya. Proses ini dilakukan pada temperatur yang lebih rendah dari titik leleh logam tersebut, sehingga material tetap berada dalam fase padat selama proses penyambungan.

Salah satu teknik yang sering diterapkan adalah pengelasan gesek, dimana logam disatukan tanpa memerlukan kawat las atau elektroda. Hal ini memastikan bahwa hasil penyambungan antara dua material adalah homogen. Pengelasan poros dengan las busur atau las gas memiliki beberapa kelemahan pada hasil lasannya, seperti asimetri, kesulitan saat menggunakan material yang berbeda, serta kemungkinan adanya retakan dan cacat pengelasan lainnya [1]. Metode pengelasan gesek memiliki kemampuan untuk mengurangi pergeseran sumbu material yang disambungkan, menyebabkan pengelasan merata diseluruh permukaan yang bersentuhan, dan mengurangi cacat las, terutama pada poros dengan diameter kecil.

Penggunaan mesin las gesek merupakan alternatif untuk mengatasi kesulitan penyambungan logam yang tidak dapat diatasi dengan las fusi [2]. Awal mula pengembangan mesin las gesek adalah untuk melakukan pengelasan poros yang berbeda jenis materialnya, pengelasan gesek memiliki parameter yang perlu diperhatikan dalam perancangan, seperti kecepatan putaran, tekanan, dan waktu pengelasan [3].

Di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Pasundan, terdapat sebuah mesin las gesek tipe putar yang telah memperoleh hak paten dengan nomor paten S00202209755, yang diberikan pada tanggal 16 September 2022. Adapun inventor pada paten tersebut yaitu: Gatot Santoso, Sugiharto, Toto Supriyono, Gilang Darmawan. Mesin ini merupakan hasil penelitian mahasiswa Teknik Mesin Universitas Pasundan terdahulu. Mesin tersebut dibuat dengan tujuan untuk mempercepat proses pengelasan poros dan dapat pengelas poros dengan material yang berbeda. Namun, terdapat beberapa aspek yang dapat dioptimalkan pada kinerja mesin las gesek tipe putar tersebut. Adapun beberapa hal yang dapat dilakukan optimasi yang terdapat pada mesin las gesek tipe putar yang telah ada adalah sebagai berikut:

- A. Putaran motor pada mesin las gesek tipe putar dapat divariasi,
- B. Melakukan otomasi pada sistem kontrol penekanan pneumatik pada saat proses pengelasan,
- C. Otomasi pada panel kontrol yang berbasis arduino dan HMI (*Human Machine Interface*),
- D. Mengubah rasio putaran pada transmisi *pulley* dan *belt* agar dapat melakukan proses pengelasan dengan diameter yang lebih besar dari 10 mm.

Pada penelitian ini, rasio putaran pada transmisi *pulley* dan *belt* akan dirancang ulang dengan tujuan untuk menghasilkan proses pengelasan pada mesin las gesek tipe putar dengan diameter yang lebih besar dari diameter spesimen sebelumnya. Dengan demikian diperlukan langkah-langkah untuk mengatasi permasalahan di atas. Hal itulah yang memicu timbulnya gagasan untuk melakukan optimasi pada mesin las gesek tipe putar tersebut, terutama pada kinerja mesin las gesek tipe putar agar dapat melakukan pengelasan pada material Aluminium 6061, Stainless Steel 201, Baja st-37, dan Tembaga yang berdiameter 15 mm.

2. Rumusan masalah

Bagaimana merancang-bangun ulang sistem transmisi *pulley* dan *belt* pada mesin las gesek tipe putar untuk meningkatkan torsi keluaran pada *spindle chuck*, sehingga memungkinkan proses pengelasan pada material Aluminium 6061, Stainless Steel 201, Baja st-37, dan Tembaga dengan diameter 15 mm, serta bagaimana hasil uji coba fungsi dari sistem transmisi yang telah dirancang ulang tersebut.

3. Tujuan

Merancang-bangun ulang sistem transmisi *pulley* dan *belt* pada mesin las gesek tipe putar untuk meningkatkan torsi pada *spindle chuck*, agar dapat melakukan proses pengelasan pada material Aluminium 6061, Stainless Steel 201, Baja st-37, dan Tembaga dengan diameter 15 mm, serta dilakukan uji coba fungsi.

4. Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat bagi mahasiswa lainnya untuk dapat memanfaatkan mesin las gesek tipe putar yang telah dilakukan optimasi, sehingga dapat melakukan pengelasan gesek dengan lebih bervariasi seperti material Aluminium 6061, Stainless Steel 201, Baja st-37, dan Tembaga dengan diameter sampai 15 mm.

5. Batasan masalah

Pada optimasi mesin las gesek tipe putar ruang lingkup penelitian ini dibatasi pada aspek-aspek berikut:

- A. Penelitian ini menggunakan mesin las gesek tipe putar yang ada di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Pasundan,
- B. Target diameter spesimen uji yang dapat digunakan pada mesin las gesek ini adalah material Aluminium 6061, Stainless Steel 201, Baja st-37, dan Tembaga dengan diameter 15 mm,
- C. Uji coba fungsi hanya difokuskan pada keberhasilan sambungan spesimen, tanpa memperhatikan faktor-faktor lain.

6. Sistematika penulisan

Dengan pertimbangan dari berbagai referensi, penting untuk memberi kemudahan pembaca dalam memahami persoalan dan pembahasan pada skripsi ini. Oleh karena itu, laporan skripsi ini dibuat dengan sistematika penulisan sebagai berikut.

BAB I PENDAHULUAN: Pada bab ini dibahas tentang latar belakang yang menjadi permasalahan secara umum dan khusus penelitian ini dilakukan, perumusan masalah penelitian, tujuan penelitian, lingkup penelitian, dan manfaat penelitian skripsi.

BAB II STUDI LITERATUR: Pada bab ini dibahas tentang penelitian-penelitian terdahulu dan teori – teori yang berhubungan dan mendukung dalam melaksanakan skripsi Bab ini membahas alat/mesin/prototipe pendahulu, pengertian mesin las gesek tipe putar, serta literatur yang berkaitan dan menunjang pada skripsi ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN: Pada bab ini dibahas tentang prosedur dan langkah - langkah yang akan dilakukan dalam penelitian untuk mencapai tujuan dari penelitian ini.

BAB IV ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN: Pada bab ini dibahas tentang tahapan dan pengujian, serta hasil dari eksperimen mesin las gesek tipe putar dengan torsi motor yang telah dioptimalkan. Penjelasan hasil eksperimen berupa tabel dan gambar hasil pengujian pada variabel eksperimen yang telah ditetapkan.

BAB V PENUTUP: Pada bab ini dibahas tentang kesimpulan dan saran mengenai hal – hal penting yang diperoleh berdasarkan dari hasil analisis dan pengujian, yang merupakan jawaban dari permasalahan yang menjadi topik dalam skripsi.

DAFTAR PUSTAKA: Pada bab ini dibahas tentang buku acuan atau artikel yang digunakan dalam laporan skripsi.

LAMPIRAN



BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

Optimasi transmisi *pulley* dan *belt* berhasil meningkatkan torsi keluaran pada *spindle chuck* dari 4,44 Nm menjadi 7,4 Nm, memungkinkan pengelasan gesek pada material dengan diameter lebih besar dari 10 mm sampai 15 mm, seperti Aluminium 6061, Baja st-37, dan Stainless Steel 201. Pengelasan pada material Tembaga tidak berhasil dan tidak dilanjutkan, dikarenakan Tembaga memiliki konduktivitas termal yang sangat tinggi yaitu 380–400 W/m·K, sehingga panas yang dihasilkan dari gesekan menyebar dengan cepat ke seluruh material, mengakibatkan daerah yang gesekan tidak dapat mencapai suhu deformasi plastis meskipun koefisien geseknya cukup tinggi sebesar 1.00–1.05,

- A. Hasil pengamatan visual menunjukkan adanya *flash* pada sambungan Aluminium 6061, Namun, *flash* tidak terbentuk pada sambungan Baja st-37 dan Stainless Steel 201 karena perbedaan sifat material dan motor pada mesin las gesek berhenti berputar sebelum proses pengelasan selesai,
- B. Hasil uji patahan sambungan menunjukkan persentase luas area patahan berserabut pada material Aluminium 6061 sebesar 93,08%, pada material Baja st-37 sebesar 45,02% dan pada material Stainless Steel 201 sebesar 42,78%.

2. Saran

Hasil penelitian yang telah dilakukan menunjukkan hasil yang baik mengenai optimasi kinerja mesin, namun terdapat beberapa saran yang kiranya perlu untuk dilakukan. Saran tersebut yaitu:

- A. Mengembangkan mekanisme penekanan untuk memastikan silinder pneumatik dapat memberikan tekanan sejajar dengan arah pengelasan material,
- B. Meningkatkan desain sistem bantalan pada *chuck* untuk menstabilkan pencekaman material selama proses pengelasan,
- C. Meningkatkan kinerja motor penggerak agar menghindari kondisi *overload* yang dapat menyebabkan motor berhenti beroperasi saat pengelasan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] G. Santoso, T. Supriyono, and G. Darmawan, "Rancang Bangun *Rotary Type Friction Welding Machine*," Universitas Pasundan, 2020. doi: 10.32497/bangunrekaprima.v8i1.3555.
- [2] P. Haryanto, B. Cahyono, and J. Semarang, "Menguji Kekuatan Tarik Pada Sambungan Las Gesek Baja Karbon Rendah (Aisi 1040) Dan Baja Tahan Karat (Aisi 304) Disambung Menggunakan Mesin Las Gesek Hasil Penelitian Rancang Bangun," *Semin. Nas. Edusainstek*, pp. 7–12, 2018, doi: 10.30811/jowt.v2i2.2031.
- [3] B. L. Sanyoto, N. Husodo, S. Bangun, and S. Mahirul, "Penerapan Teknologi Las Gesek (*Friction Welding*) dalam Proses Penyambungan Dua Buah Pipa Logam Baja Karbon Rendah," *J. Energi dan Manufaktur*, vol. 5, pp. 51–60, 2012.
- [4] I. Kurniawan, P. Pujono, M. Nurhilal, and D. Prabowo, "Rancang Bangun Mesin *Friction Welding* untuk Pengelasan Baja st-37 dengan Diameter Maksimal $\frac{1}{2}$ Inch," *Ranc. Bangun Mesin Frict. Welding untuk Pengelasan Baja St 37 dengan Diam. Maksimal $\frac{1}{2}$ Inch*, vol. 8, no. 1, p. 110, 2022, doi: 10.32497.
- [5] Pujono, D. Prabowo, and E. P. Pratama, "Rancang Bangun *Prototype* Mesin *Friction Welding*," *Ranc. Bangun Prototype Mesin Frict. Weldin*, vol. 5, no. 1, pp. 13–20, 2019, doi: 10.32497.
- [6] K. T. Sunny and N. N. Korra, "A *Systematic Review About Welding of Super Austenitic Stainless Steel*," *Mater. Today Proc.*, vol. 47, pp. 4378–4381, 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2021.05.185.
- [7] S. Feng, Z. Liu, and R. Xin, "*Simulation of Friction Stir Welding of AZ31 Mg Alloys*," *Materials (Basel)*, vol. 17, no. 20, p. 4974, Oct. 2024, doi: 10.3390/ma17204974.
- [8] A. Prabowo, "Pengaruh Waktu Pengelasan Terhadap Kualitas Sambungan Las Magnesium Az31 dan Aluminium Al 13 dengan Metode Pengelasan Gesek," Universitas Lampung, 2017. doi: 10.1016/j.matdes.2006.05.027.
- [9] I. F. Maulana, "Pengaruh Kecepatan Putaran Mesin Terhadap Hasil Sambungan Las Pada Proses Pengelasan *Friction Welding* Paduan Aluminium Seri 4000," Universitas Negeri Jakarta, 2015. [Online]. Available: <http://repository.unj.ac.id/27554/>
- [10] Daryono, D. Handoko, T. Prihantono, and A. Setiawan, "Analisa Variasi Putaran *Friction Welding* Terhadap Kekerasan Logam Aluminium Paduan Seri 1100-H18," *Accurate J. Mech. Eng. Sci.*, vol. 3, no. 2, pp. 15–20, 2022, doi: 10.35970/accurate.v3i2.1494.

- [11] N. Husodo, B. L. Sanyoto, S. B. Setyawati, and M. Mursid, "Penerapan Teknologi Las Gesek (*Friction Welding*) dalam Rangka Penyambungan Dua Buah Logam Baja Karbon st-41 pada Produk *Back Spring Pin*," *J. Energi dan Manufaktur*, vol. 6, no. 1, pp. 43–52, 2013, [Online]. Available: [http://download.garuda.kemdikbud.go.id/article.php?article=1357780&val=982&title=Penerapan Teknologi Las Gesek Friction Welding dalam Rangka Penyambungan Dua Buah Logam Baja Karbon St41 pada Produk Back Spring Pin](http://download.garuda.kemdikbud.go.id/article.php?article=1357780&val=982&title=Penerapan%20Teknologi%20Las%20Gesek%20Friction%20Welding%20dalam%20Rangka%20Penyambungan%20Dua%20Buah%20Logam%20Baja%20Karbon%20St41%20pada%20Produk%20Back%20Spring%20Pin)
- [12] M. Dzulfikar, H. Purwanto, and M. A. Munif, "Pengaruh Tekanan terhadap Sifat Mekanik dan Mikrostruktur pada Sambungan Las Gesek Aluminium AA1100," *Semin. Nas. Teknoka*, vol. 5, pp. 326–331, 2020, doi: 10.22236/teknoka.v5i.385.
- [13] A. Aravind and R. Saravanan, "Improvement in Hardness, Wear Rate and Corrosion Resistance of Silicon Bronze Using Gas Tungsten Arc," *Mater. Today Proc.*, vol. 24, pp. 406–414, 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2020.04.292.
- [14] S. Chakraborty, R. Mandal, S. Chakraborty, M. Guadagnini, and K. Pilakoutas, "Chemical Attack and Corrosion Resistance of Concrete Prepared with Electrolyzed Water," *J. Mater. Res. Technol.*, vol. 11, pp. 1193–1205, Mar. 2021, doi: 10.1016/j.jmrt.2021.01.101.
- [15] A. Sasmito, M. N. Ilman, P. T. Iswanto, and R. Muslih, "Effect of Rotational Speed on Static and Fatigue Properties of Rotary Friction Welded Dissimilar AA7075/AA5083 Aluminium Alloy Joints," *Metals (Basel)*, vol. 12, no. 1, p. 99, 2022, doi: <https://doi.org/10.3390/met12010099>.
- [16] T. Teker, T. Soysal, and G. Akgün, "Effect of Rotary Friction Welding on Mechanical Properties of 6060 Al Alloy," *Rev. Metal.*, vol. 57, no. 4, 2021, doi: <https://doi.org/10.3989/revmetalm.206>.
- [17] S. Bose, D. Banerjee, A. Shivaram, S. Tarafder, and A. Bandyopadhyay, "Calcium Phosphate Coated 3D Printed Porous Titanium With Nanoscale Surface Modification for Orthopedic and Dental Applications," *Mater. Des.*, vol. 151, pp. 102–112, Aug. 2018, doi: 10.1016/j.matdes.2018.04.049.
- [18] H. Santoso, A. Surahito, and F. D. Ekawati, "The Effect of Rotation Speed on the Quality of Friction Welding Joints in Aluminum and Copper," *J. Asimetrik J. Ilm. Rekayasa Dan Inov.*, vol. 6, no. 2, pp. 309–318, 2024, doi: <https://doi.org/10.35814/asiimetrik.v6i2.5773>.
- [19] Y. Yohanes, R. Abdurrahman, and A. Ridwan, "Finite Element Study on Rotary Friction Welding Process for Mild Steel," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 620, no.

- 1, p. 012111, Sep. 2019, doi: 10.1088/1757-899X/620/1/012111.
- [20] M. Meisnar *et al.*, “Microstructural Characterisation of Rotary Friction Welded AA6082 and Ti-6Al-4V Dissimilar Joints,” *Mater. Des.*, vol. 132, pp. 188–197, Oct. 2017, doi: 10.1016/j.matdes.2017.07.004.
- [21] H. Firmanto, S. Candra, M. A. Hadiyat, Y. P. Triastomo, and I. Wirawan, “Tensile Strength and Microstructure of Rotary Friction-Welded Carbon Steel and Stainless Steel Joints,” *J. Manuf. Mater. Process.*, vol. 7, no. 1, p. 7, Dec. 2022, doi: 10.3390/jmmp7010007.
- [22] C. A. Huang, T. H. Wang, C. H. Lee, and W. C. Han, “A Study of The Heat-Affected Zone (HAZ) of an Inconel 718 Sheet Welded With Electron-Beam Welding (EBW),” *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 398, no. 1–2, pp. 275–281, 2005, doi: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2005.03.029>.
- [23] S. Sunyoto, G. Nugraha, S. Subarjana, and A. Sasmito, “Optimalisasi Fungsi Mesin Bubut untuk Proses Pengelasan Rotary Friction Welding Dengan Menambah Jig dan Pendorong Hidrolik,” *Indones. J. Lab.*, vol. 2, no. 3, p. 17, Aug. 2020, doi: 10.22146/ijl.v2i3.57064.
- [24] T. Suwanda, E. Syaifudin, A. W. Nugroho, and N. Ardiyansyah, “Effect of Friction Time on the Mechanical Properties of AA 6061-T6 Continuous Drive Friction Welded Joints,” *J. Weld. Technol.*, vol. 6, no. 1, p. 17, Jul. 2024, doi: 10.30811/jowt.v6i1.4864.
- [25] A. Moarrefzadeh, “Study of Heat Affected Zone (HAZ) in Friction Welding Process,” *J. Mech. Eng.*, vol. 1, no. 1, pp. 11–17, 2012, [Online]. Available: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document>
- [26] O. G. Chike, N. B. Ahmad, and U. M. B. Al-Naib, “Additive Manufacturing: A Layered Taxonomy and Classification for Material Engineering Process,” *Mater. Sci. Forum*, vol. 1045, pp. 157–178, Sep. 2021, doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.1045.157.
- [27] O. T. Midling and Ø. Grong, “A Process Model for Friction Welding of Al Mg Si Alloys and Al Sic Metal Matrix Composites—I. Haz Temperature and Strain Rate Distribution,” *Acta Metall. Mater.*, vol. 42, no. 5, pp. 1595–1609, 1994, doi: [https://doi.org/10.1016/0956-7151\(94\)90369-7](https://doi.org/10.1016/0956-7151(94)90369-7).
- [28] Irwansyah, “Pengaruh Temperatur, Panjang Upset, dan Bentuk Flash Terhadap Kekuatan Tarik pada Penyambungan Aluminium dengan Metode Las Gesek,” *UG J.*, vol. 9, no. 05, pp. 9–11, 2015, [Online]. Available: <https://ejournal.gunadarma.ac.id/index.php/ugjournal/article/viewFile/1462/1244>

- [29] P. Y. Kardiman, and R. Hanifi, "Perancangan Poros, *Pulley* dan *V-belt* pada Sepeda Motor Honda Beat FI 2014," *J. Ilm. Wahana Pendidik.*, vol. 8, no. 17, pp. 373–383, 2022, doi: 10.5281.
- [30] M. W. Nugraha, D. T. Santoso, "Analisa Perhitungan *Belt* Pada Mesin *Huller Kopi*," *Open J. Syst.*, vol. 17, no. 1, pp. 175–184, 2022, doi: 10.33578.
- [31] A. Sai'in and M. Muzaki, "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," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 15, no. 1, p. 10, Apr. 2020, doi: 10.32497/jrm.v15i1.1804.
- [32] W. D. Callister and D. G. Retwisch, *Materials Science and Engineering: An Introduction*, 9th Editio. United States of America: John Wiley and Sons, 2013.
- [33] ASM Handbook Committee, *Properties and Selection: Irons, Steels, and High-Performance Alloys*. ASM International, 1990. doi: 10.31399/asm.hb.v01.9781627081610.
- [34] E. Rabinowicz and R. I. Tanner, "*Friction and Wear of Materials*," *J. Appl. Mech.*, vol. 33, no. 2, pp. 479–479, Jun. 1966, doi: 10.1115/1.3625110.
- [35] A. Dawood, S. Butt, G. Hussain, M. Siddiqui, A. Maqsood, and F. Zhang, "*Thermal Model of Rotary Friction Welding for Similar and Dissimilar Metals*," *Metals (Basel)*, vol. 7, no. 6, p. 224, Jun. 2017, doi: 10.3390/met7060224.