

**Peningkatan Sistem Kontrol dan Variasi Putaran Motor AC 1
Fasa pada Mesin Las Gesek Tipe Putar**

*Improvement of Control Systems and Variations in the Speed of a Single-
Phase AC Motor in a Rotating Type Friction Welding Machine*

SKRIPSI

Oleh:

Nama: Hudiya Ikhtisamul Ahsan

NPM: 203030061



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

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Hudiya Ikhtisamul Ahsan

Nomor Pokok Mahasiswa : 203030061

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 *plagiarism*.

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,



Hudiya Ikhtisamul Ahsan

SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

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

N a m a : Hudiya Ikhtisamul Ahsan

NPM : 203030061

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:

Peningkatan Sistem Kontrol dan Variasi Putaran Motor AC 1 Fasa 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,



Hudiya Ikhtisamul Ahsan

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Peningkatan Sistem Kontrol dan Variasi Putaran Motor AC 1 Fasa Pada Mesin Las Gesek Tipe Putar



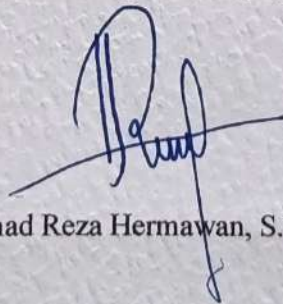
Nama: Hudiyah Ikhtisamul Ahsan
NPM: 203030061

Pembimbing Utama



Dr. Ir. Ade Bagdja, MME.

Pembimbing Pendamping



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

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Peningkatan Sistem Kontrol dan Variasi Putaran Motor AC 1 Fasa Pada Mesin Las Gesek Tipe Putar



Nama: Hudiya Ikhtisamul Ahsan
NPM: 203030061

Tanggal sidang skripsi: 24 Oktober 2024

Ketua : Dr. Ir. Ade Bagdja, MME.


.....

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


.....

Anggota : Ir. Bukti Tarigan, M.T.


.....

Anggota : Ir. Syahbardia, M.T.


.....

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warrahmatullah Wabarakaatuh.

Puji serta syukur kami panjatkan kehadiran Allah SWT karena berkat rahmat dan hidayah-NYA sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Skripsi yang berjudul “Peningkatan Sistem Kontrol dan Variasi Putaran Motor AC 1 Fasa 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 laporan ini.
2. Kepada orang tua yang senantiasa mendoakan dan memberikan dukungan baik kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi ini.
3. Kepada Dr. Ir. Ade Bagdja, MME., selaku pembimbing utama yang telah memberi saran serta bimbingan dalam menyelesaikan laporan skripsi.
4. Kepada Reza Hermawan, S.T., M.T., selaku pembimbing pendamping yang telah memberi saran serta bimbingan dalam menyelesaikan laporan skripsi.
5. Kepada Dr. Ir. Sugiharto, M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Pasundan.
6. Dera Selvia, yang senantiasa membantu dan mendukung penulis dari awal sampai akhir.
7. Rekan-rekan Teknik Mesin angkatan 2020 dan semua pihak yang terlibat dalam membantu penulis menyelesaikan laporan skripsi ini.

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

Wassalamu'alaikum Warrahmatullah Wabarakaatuh.

Bandung, 24 Oktober 2024

Penulis,



Hudiya Ikhtisamul Ahsan

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.....	viii
DAFTAR TABEL	ix
ABSTRAK.....	x
ABSTRACT.....	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1. Latar belakang	1
2. Rumusan masalah	2
3. Tujuan	2
4. Manfaat	2
5. Batasan masalah.....	2
6. Sistematika penulisan.....	3
BAB II STUDI LITERATUR	5
1. Kajian Pustaka.....	5
2. Pengertian Pengelasan.....	5
3. Konstruksi Mesin Las Gesek Tipe Putar.....	11
4. Sistem Kontrol Las Gesek.....	16
BAB III METODOLOGI.....	21
1. Tahapan Penelitian	22

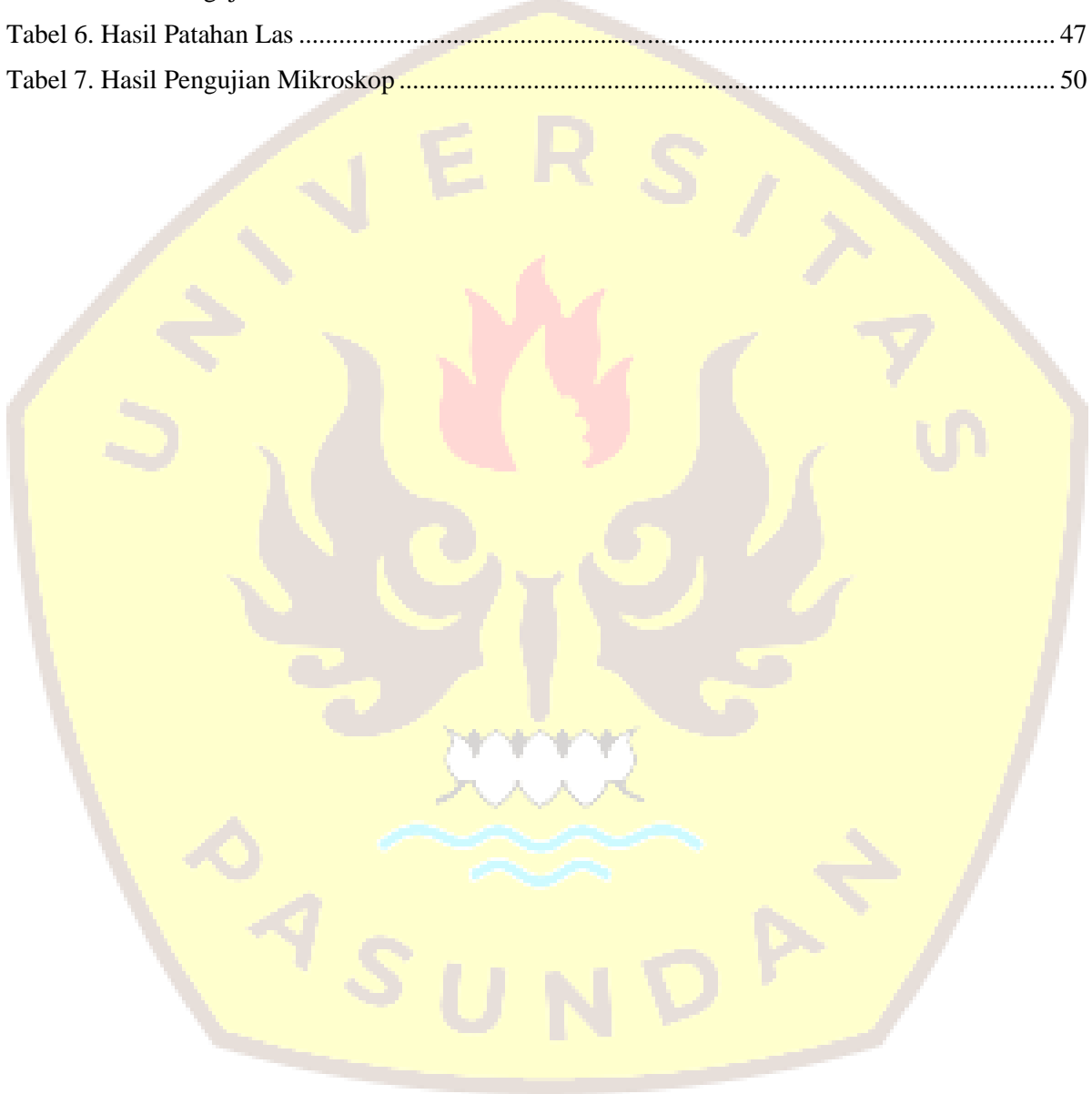
2.	Alat dan Bahan Penelitian.....	25
3.	Tempat Penelitian	28
4.	<i>Setup</i> Pengujian.....	29
5.	Bahan dan alat yang digunakan.....	30
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		37
1.	Deskripsi Data.....	37
2.	Proses Optimasi.....	39
3.	Hasil yang Dicapai	42
4.	Tahapan Pengoperasian <i>Rotary Type Friction Welding Machine</i>	42
BAB V HASIL PENGUJIAN LAS GESEK		45
1.	Pengujian Visual	45
2.	Pengujian Patahan Las	47
3.	Pengujian Mikroskop	48
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....		53
1.	Kesimpulan	53
2.	Saran.....	53
DAFTAR PUSTAKA.....		54
LAMPIRAN		57

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 Pengelasan Fusi	10
Gambar 7. HAZ Pengelasan Gesek	11
Gambar 8. Kontruksi Mesin Las Gesek Tipe Putar	12
Gambar 9. Rangkaian Sistem Kontrol Mesin Las Gesek Tipe Putar.....	16
Gambar 10. HMI Nextion 7 inch.....	17
Gambar 11. Arduino Uno R3	18
Gambar 12. Modul <i>Dimmer Zero Crossing</i> 8A.....	18
Gambar 13. Arduino IDE	19
Gambar 14. Nextion Editor	19
Gambar 15. <i>Wiring Diagram</i>	23
Gambar 16. Lokasi Penelitian	28
Gambar 17. Mesin Las Gesek Tipe Putar.....	31
Gambar 18. Mesin Uji Impak.....	32
Gambar 19. Mikroskop Optik.....	34
Gambar 20. Rangkaian Listrik Sebelumnya.....	37
Gambar 21. Panel Kontrol Sebelumnya	38
Gambar 22. Rangkaian Sebelumnya.....	39
Gambar 23. Rangkaian Listrik.....	39
Gambar 24. Rangkaian Kontrol.....	40
Gambar 25. Panel Kontrol	41
Gambar 26. Tampilan Awal HMI.....	42
Gambar 27. Pengaturan Mode Manual	43
Gambar 28. Pengaturan Mode Otomatis	44

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Part Mesin Las Gesek.....	12
Tabel 2. Alat dan Bahan yang Digunakan.....	25
Tabel 3. Prosedur Pengujian.....	30
Tabel 4. Bahan yang Digunakan.....	35
Tabel 5. Hasil Pengujian Visual.....	46
Tabel 6. Hasil Patahan Las.....	47
Tabel 7. Hasil Pengujian Mikroskop.....	50



ABSTRAK

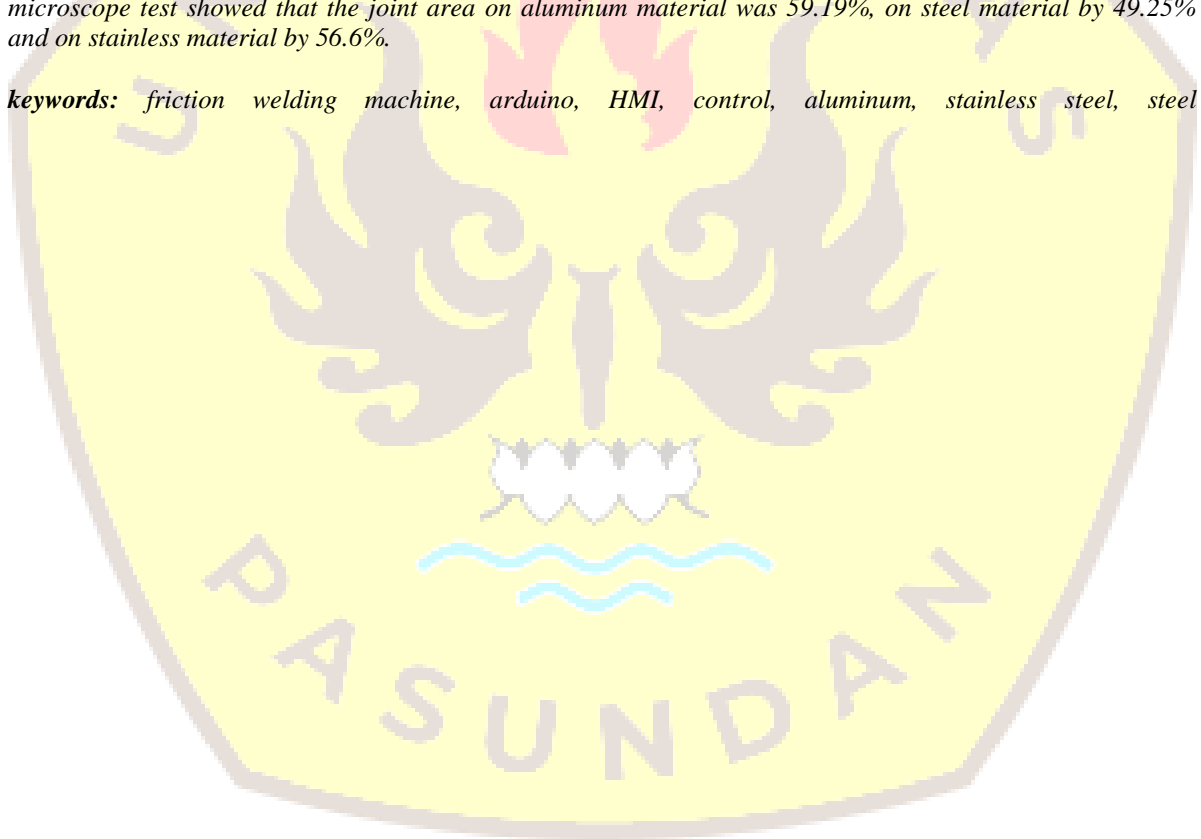
Pengelasan gesek (*friction welding*) adalah salah satu metode pengelasan *solid state* di mana panas dihasilkan melalui gesekan antara permukaan benda kerja. Penggunaan teknologi las gesek semakin berkembang karena kemudahannya dalam pengoperasian, kecepatan proses, tidak memerlukan logam pengisi atau *grooving*, serta hasil pengelasan yang baik. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimasi sistem kontrol dan variasi putaran motor AC 1 fasa pada mesin las gesek tipe putar menggunakan Arduino dan HMI. Uji coba fungsi sistem kontrol yang baru dan pengaturan putaran motor telah dilakukan. Hasil dari penelitian ini yaitu sistem kontrol berfungsi dengan baik, dan pengaturan kecepatan motor dapat dilakukan pada layar HMI dengan variasi penaikan dan penurunan sebesar 100 rpm. Dengan sistem kontrol yang baru dapat melakukan pengelasan secara otomatis, di mana proses pengelasan menjadi lebih efisien, mengurangi kebutuhan intervensi manual, dan meningkatkan konsistensi serta kualitas hasil pengelasan secara keseluruhan. Pengujian dilakukan pada material aluminium 6061, baja st-37, stainless steel 201, dan tembaga, menggunakan parameter pengelasan dengan tekanan 60 Psi (4,137 Bar) dan kecepatan motor 1.400 rpm. Namun, pengelasan pada tembaga tidak berhasil dilakukan karena material mengalami pelapukan sebelum mencapai titik leleh. Hal ini disebabkan oleh kecepatan aktual pada *spindle chuck* yang hanya mencapai 963,3 rpm, sementara pengelasan tembaga memerlukan minimal 1.200 rpm, sehingga pengujian pada material tembaga tidak dilanjutkan. Hasil pengamatan visual menunjukkan adanya *flash* pada sambungan aluminium 6061. Namun, *flash* tidak 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 las menunjukkan luas patahan berserabut pada material aluminium sebesar 99,86%, pada material baja sebesar 63,58%, pada material stainless sebesar 48,04%, dan pada material stainless (poros berongga) sebesar 85,94%. Hasil uji mikroskop menunjukkan luas sambungan pada material aluminium sebesar 59,19%, pada material baja sebesar 49,25% dan pada material stainless sebesar 56,6%.

kata kunci: mesin las gesek, arduino, HMI, sistem kontrol, aluminium, stainless steel, baja

(ABSTRACT)

Friction welding is one of the solid state welding methods in which heat is generated through friction between the surfaces of the workpiece. The use of friction welding technology is growing due to its ease of operation, process speed, no need for filler or grooving metal, and good welding results. This research aims to optimize the control system and rotation variation of 1-phase AC motors in rotary type friction welding machines using Arduino and HMI. Tests of the functions of the new control system and the regulation of the rotation of the motor have been carried out. The result of this study is that the control system works well, and the motor speed regulation can be done on the HMI screen with a variation of 100 rpm increase and decrease. With the new control system, welding can be carried out automatically, where the welding process becomes more efficient, reduces the need for manual intervention, and improves the consistency and quality of the overall welding results. Testing was carried out on aluminum 6061, st-37 steel, stainless steel 201, and copper materials, using welding parameters with a pressure of 60 Psi (4,137 Bar) and a motor speed of 1,400 rpm. However, welding on copper is not successful because the material undergoes weathering before it reaches the melting point. This is due to the actual speed of the spindle chuck which only reaches 963.3 rpm, while copper welding requires a minimum of 1,200 rpm, so the test on copper materials is not continued. Visual observation results show the presence of a flash on the 6061 aluminum joint. However, the flash does not form on the joints of st-37 steel and stainless steel 201 due to the difference in material properties and the motor in the friction welding machine stops rotating before the welding process is completed. The results of the weld fracture test showed that the fibrous fracture area in aluminum material was 99.86%, in steel material was 63.58%, in stainless material was 48.04%, and in stainless material (hollow shaft) was 85.94%. The results of the microscope test showed that the joint area on aluminum material was 59.19%, on steel material by 49.25% and on stainless material by 56.6%.

keywords: friction welding machine, arduino, HMI, control, aluminum, stainless steel, steel



BAB I PENDAHULUAN

1. Latar belakang

Pengelasan merupakan metode penyambungan logam yang sering digunakan di bidang teknik dan metalurgi, terutama dalam bidang industri. Umumnya jenis pengelasan yang banyak digunakan 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 sepenuhnya. Proses ini dilakukan pada temperatur yang lebih rendah dari titik leleh logam tersebut, sehingga material tetap dalam keadaan padat atau "*solid state*" selama proses penggabungan.

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

Penggunaan 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. Proses penyambungan pada las gesek memiliki beberapa parameter yang harus diperhatikan dalam perancangannya 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, dan 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 mengelas poros dengan material yang berbeda. Namun demikian, terdapat beberapa hal yang dapat dikembangkan untuk dilakukan optimasi kinerja pada 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 AC pada mesin las gesek tipe putar dapat divariasikan;

- B. Melakukan otomatisasi pada sistem kontrol penekanan pneumatik pada saat proses pengelasan;
- C. Otomatisasi pada sektor kontrol panel yang berbasis Arduino dan HMI (*Human Machine Interface*); dan
- D. Menambahkan rasio pada transmisi *pulley* dan *belt* agar dapat melakukan proses pengelasan dengan diameter yang lebih besar dari 10 mm.

Dalam penelitian ini, sistem kontrol rpm motor AC 1 fasa akan dikendalikan menggunakan program Arduino Uno r3 yang akan dihubungkan pada panel kontrol HMI. Sistem kontrol ini akan dirancang dengan tujuan untuk memudahkan kontrol rpm motor AC 1 fasa, dan pengoperasian mesin las gesek tipe putar pada saat proses pengelasan berlangsung. 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.

2. Rumusan masalah

Bagaimana merancang ulang sistem kontrol pada mesin las gesek tipe putar untuk meningkatkan kinerja dan dapat memvariasikan putaran motor AC 1 fasa, serta bagaimana hasil uji coba fungsi dari sistem kontrol yang telah dirancang ulang tersebut.

3. Tujuan

Merancang ulang sistem kontrol pada mesin las gesek tipe putar untuk meningkatkan kinerja dan dapat memvariasikan putaran motor AC 1 fasa, 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 di optimasi sehingga dapat melakukan pengelasan gesek dengan lebih bervariasi seperti material aluminium 6061, stainless steel 201, baja st-37, dan tembaga yang berdiameter 15 mm.

5. Batasan masalah

Pada proses Optimasi las gesek tipe putar penulis membatasi masalah sebagai berikut:

- A. Mesin las gesek yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah mesin las gesek tipe putar di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Pasundan.
- B. Sistem kontrol dan variasi putaran motor AC 1 fasa menjadi otomatis berbasis HMI dan Arduino.
- C. Target diameter benda kerja yang dapat digunakan pada mesin las gesek ini adalah 15 mm.
- D. Pengujian mikroskop dan impak dilakukan pada bagian tengah material dengan

fokus hanya pada sambungan lasnya.

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 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 sistem kontrol yang telah disempurnakan. 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 mesin las gesek tipe putar telah berhasil dilakukan. Optimasi tersebut meliputi sistem kontrol dan variasi putaran motor AC 1 fasa pada mesin las gesek tipe putar. Uji coba fungsi sistem kontrol yang baru dan pengaturan putaran motor telah dilakukan. Hasil dari pengujian ini yaitu sistem kontrol berfungsi dengan baik, dan pengaturan kecepatan motor dapat dilakukan pada layar HMI dengan variasi kenaikan dan penurunan sebesar 100 rpm. Dengan sistem kontrol yang baru dapat melakukan pengelasan secara otomatis, di mana proses pengelasan menjadi lebih efisien, mengurangi kebutuhan intervensi manual, dan meningkatkan konsistensi serta kualitas hasil pengelasan secara keseluruhan.

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. Meningkatkan motor penggerak agar tidak kekurangan *power* pada saat proses pengelasan berlangsung, yang menyebabkan motor berhenti berputar pada saat proses pengelasan,
- B. Melakukan peningkatan pada bagian *chuck* dan poros penghubung, agar dapat mencekam material dengan lebih stabil selama proses pengelasan,
- C. Pengembangan lebih lanjut pada mekanisme penekanan, agar dapat meneruskan penekanan silinder pneumatik sejajar dengan arah penekanan material yang akan dilas,
- D. Melakukan pengujian pengelasan berdasarkan parameter pengelasan gesek.

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.
- [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 ½ Inch, vol. 8, no. 1, p. 110, 2022, doi: 10.32497.
- [5] P. Pujono, D. Prabowo, and E. P. Pratama, "Rancang Bangun Prototype Mesin *Friction Welding*," vol. 5, no. 1, pp. 13–20, 2019, doi: 10.32497.
- [6] A. Prabowo, "Pengaruh Waktu Pengelasan Terhadap Kualitas Sambungan Las Magnesium Az31 dan Aluminium Al 13 dengan Metode Pengelasan Gesek," Universitas Lampung, 2017.
- [7] 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/>
- [8] 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.
- [9] 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 St41 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)
- [10] 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.

- [11] 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>.
- [12] 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>.
- [13] H. Santoso, A. Surahto, 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>.
- [14] S. J. Sokop, D. J. Mamahit, dan S. Sompie, "Trainer perifer al antarmuka berbasis mikrokontroler Arduino Uno," *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, vol. 5, tidak. 3, hlm. 13–23, April 2016. [Online]. Tersedia: <https://doi.org/10.35793/j>
- [15] Santoso, Sunarto, B., Fitri, R., & Permatasari, I. (2024). Perancangan Alat Pendeteksi Kualitas Udara Dan Sistem Filter Udara Dengan Antarmuka Visual HMI Nextion. *INFOTEX: Jurnal Ilmiah Bidang Ilmu Teknik*, 2(2), 27-38.
- [16] D. K. Prasetyo, M. Fauziyah, dan S. Adhisuwignjo, "Kontrol PID pada Pengaturan Kecepatan Motor ac Berbasis ESP32," *Kohesi: Jurnal Sains dan Teknologi*, vol. 2.
- [17] P. Dika, M. Ibanez, dan P. Andrion, "Rancang Bangun Mesin Las Gesek," skripsi MS, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, 2023.
- [18] W. A. Saputra, "Analisis Pengaruh Variasi Pemanasan dan Waktu Penekanan Terhadap Sifat Mekanis Hasil Pengelasan Gesek Baja ST 37 dengan Metode Taguchi," Disertasi Doktor, Institut Teknologi Nasional Malang, 2020. [Online]. Tersedia: <https://ep.itn.ac.id/4645/>.
- [19] M. Faisal, M. Balfas, dan K. Kamil, "Analisis Kekuatan Tarik pada Logam Axle Shaft dengan Pengelasan Gesek (*Friction Welding*)," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 19, pp. 25-30, 2018. [Online]. Tersedia: docplayer.info.
- [20] P. Haryanto, R. Ismail, and S. Nugroho, "Pengaruh Gaya Tekan, Kecepatan Putar, dan Waktu Kontak pada Pengelasan Gesek Baja ST60 Terhadap Kualitas Sambungan Las," *Prosiding Sains Nasional dan Teknologi*, vol. 1, no. 1, 2011. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.36499/psnst.v1i1.367>
- [21] A. Meilianto, R. Rodika, dan M. Rivai, "Pengaruh Variasi Waktu Gesek Pada Pengelasan Gesek (*Friction Welding*) Terhadap Kekuatan Impak Baja st-37," dalam *Prosiding Seminar Nasional Inovasi Teknologi Terapan*, vol. 2, no. 01, pp. 374-380, Feb. 2022.
- [22] Z. T. Firmansyah, "Pengelasan Gesek Dengan Variasi Laju Kecepatan Putar Pada Material Baja AISI 1010 Terhadap Kekuatan Sambungan," Skripsi, Universitas

- Muhammadiyah Surakarta, 2022. [Online]. Tersedia: <https://eprints.ums.ac.id/105527/>.
- [23] S. Purnomo, "Pengaruh Variasi Putaran Gesek Terhadap Kualitas Sambungan Pada Pengelasan Gesek *Continuous Drive Friction Welding* Bahan Pipa Kuningan dan Tembaga," Prosiding Sains Nasional dan Teknologi, vol. 1, no. 1, pp. 1-12, 2016. [Online]. Tersedia: <http://repository.umy.ac.id/handle/123456789/6728>
- [24] A. D. Putra, H. Purwanto, dan I. Syafa'at, "Analisis Sifat Fisik dan Mekanik pada Sambungan Las Gesek Dua Jenis Material Aluminium dan Tembaga dengan Variasi Putaran," Jurnal Ilmiah Momentum, vol. 16, no. 1, hal. 35-40, Apr. 2020, doi: 10.36499/jim.v16i1.3352.
- [25] A. A. S. Permana, "Karakteristik Sifat Mekanik Hasil Pengelasan Gesek Aluminium dan Tembaga dengan Variasi Waktu Kontak dan Sudut *Chamfer*," disertasi, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, 2019.
- [26] B. Aji, "Pengaruh Variasi Panjang Sudut *Chamfer* Baja St41 Pada Pengelasan Gesek Baja St-41 Dengan Tembaga Terhadap Kekuatan Tarik," Sarjana thesis, Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia, 2016. [Online]. Tersedia: <http://repository.ub.ac.id/id/eprint/145234/>
- [27] F. Rohman, Q. Qomaruddin, dan A. Z. Hudaya, "Pembuatan Mesin Las Gesek Tipe Pneumatik Bertenaga Motor Listrik dengan Daya 1 HP," Jurnal *Crankshaft*, vol. 4, no. 2, pp. 47-62, 2021. doi:10.24176/crankshaft.v4i2.5971.
- [28] Y. Solehudin, G. Santoso, dan A. Bagdja, "Proses Penyambungan Pipa Memanfaatkan Teknologi *Friction Welding* Manufaktur Stainless Steel 316 Dengan Piston Baja 14NiCrMo13," disertasi, Fakultas Teknik Universitas Pasundan, 2023. [Online]. Tersedia: <http://repository.unpas.ac.id/id/eprint/67391>
- [29] A. W. Nugroho, T. Suwanda, dan S. A. Serena, "Mikrostruktur dan kekerasan sambungan pengelasan gesek *disimilar* pipa tembaga/kuningan (Cu/Cu-Zn)," Semesta Teknika, vol. 19, <https://hari.ini.kamu.ac.pengenal//inde.php/st/artikel/v/2047/23> tanggal 23/04/2020.
- [30] B. L. Sanyoto, N. Husodo, S. B. Setyawati, dan M. Mursid, "Penerapan Teknologi Las Gesek (*Friction Welding*) Dalam Proses Penyambungan Dua Buah Pipa Logam Baja Karbon Rendah," Jurnal Energi Dan Manufaktur, vol. 5, tidak. 1, hal. 1-10, 2017. [Online] <https://jurnal.harianregional>.