

**Peningkatan Sistem Kontrol Penekanan Pneumatik
pada Mesin Las Gesek Tipe Putar**

*Pneumatic Pressing Control System Upgrade on Rotary
Type Friction Welding Machine*

SKRIPSI

Oleh:

Nama: Anggi Mei Saputra

NPM: 203030051



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

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Anggi Mei Saputra
Nomor Pokok Mahasiswa : 203030051
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, 31 Oktober 2024

Penulis,



Anggi Mei Saputra

SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

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

Nama : Anggi Mei Saputra
NPM : 203030051
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 Penekanan Pneumatik 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, 31 Oktober 2024



Anggi Mei Saputra

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Peningkatan Sistem Kontrol Penekanan Pneumatik Pada Mesin Las Gesek Tipe Putar



Nama : Anggi Mei Saputra
NPM : 203030051

Pembimbing Utama

Dr. Ir. Ade Bagdja, MME.

Pembimbing Pendamping

Ir. Farid Rizayana, M.T.

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Peningkatan Sistem Kontrol Penekanan Pneumatik Pada Mesin Las Gesek Tipe Putar



Nama: Anggi Mei Saputra
NPM : 203030051

Tanggal sidang skripsi: 31 Oktober 2024

Ketua : Dr. Ir. Ade Bagdja, MME.

Sekretaris : Ir. Farid Rizayana, M.T.

Anggota : Ir. Bukti Tarigan, M.T.

Anggota : Dr. Ir. Rachmad Hartono, M.T.

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warrahmatullah Wabarakaatuh.

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, yang telah memberikan rahmat, hidayah, serta kekuatan dalam menyelesaikan penulisan skripsi ini dengan judul ‘Peningkatan Sistem Kontrol Penekanan Pneumatik pada Mesin Las Gesek Tipe Putar’. Shalawat serta salam senantiasa tercurah kepada baginda Nabi Muhammad SAW, yang telah menjadi sumber inspirasi dan teladan bagi umat manusia.

Penulisan skripsi ini merupakan hasil dari perjalanan panjang yang penuh dengan proses pembelajaran, tantangan, dan dedikasi. Penulis ingin mengucapkan terima kasih yang tak terhingga 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 Ir. Farid Rizayana, MT., 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. 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.

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..... | 4 |
| 3. Tujuan..... | 4 |
| 4. Manfaat..... | 4 |
| 5. Batasan masalah | 4 |
| 6. Sistematika penulisan..... | 5 |
| BAB II STUDI LITERATUR | 7 |
| 1. Kajian pustaka..... | 7 |
| 2. Pengertian pengelasan..... | 7 |
| a. Pengelasan cair (<i>Fusion welding</i>)..... | 8 |
| b. Pengelasan padat (<i>Solid state welding</i>)..... | 8 |
| 3. Pengelasan gesek (<i>friction welding</i>)..... | 8 |

| | | |
|--|---|-----------|
| a. | <i>Rotary friction welding</i> | 9 |
| b. | <i>Friction stir welding</i> | 10 |
| c. | <i>Linier friction welding</i> | 11 |
| 4. | <i>HAZ fusion welding</i> | 12 |
| 5. | <i>HAZ solid state welding</i> | 13 |
| 6. | Konstruksi mesin las gesek tipe putar..... | 14 |
| 7. | Sistem kontrol penekanan pneumatik | 18 |
| 8. | Sistem kontrol penekanan pneumatik yang akan diaplikasikan..... | 19 |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN | | 23 |
| 1. | Tahapan penelitian | 24 |
| 2. | Identifikasi masalah..... | 24 |
| 3. | Studi literatur..... | 24 |
| 4. | Perancangan | 25 |
| 5. | Perakitan..... | 26 |
| 6. | Pengujian sistem kontrol | 26 |
| 7. | Alat dan bahan penelitian..... | 26 |
| 8. | Tempat penelitian..... | 29 |
| 9. | Setup pengujian pengelasan gesek | 29 |
| a. | Prosedur untuk pengelasan las gesek..... | 29 |
| b. | Parameter pengujian | 31 |
| 10. | Bahan dan alat yang digunakan | 31 |
| a. | Mesin las gesek tipe putar..... | 31 |
| b. | Metode pengolahan data pengujian | 35 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN | | 36 |
| 1. | Deskripsi data..... | 36 |
| 2. | Proses optimasi..... | 36 |
| 3. | Hasil yang dicapai | 40 |

| | | |
|---|--|-----------|
| 4. | Tahapan pengoprasian <i>rotary type friction welding machine</i> | 40 |
| 5. | Pengoperasian pengelasan manual | 41 |
| 6. | Pengopersian pengelasan otomatis..... | 42 |
| BAB V PENGUJIAN SAMBUNGAN LAS GESEK..... | | 44 |
| 1. | Setup pengujian sambungan las gesek | 44 |
| 2. | Pengujian visual | 44 |
| 3. | Pengujian impak..... | 46 |
| 4. | Pengujian mikroskop..... | 48 |
| BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN | | 6 |
| 1. | Kesimpulan..... | 6 |
| 2. | Saran..... | 6 |
| DAFTAR PUSTAKA | | 7 |
| LAMPIRAN..... | | 56 |



DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 1. Proses las gesek di industri [3] | 3 |
| Gambar 2. Skematis pengelasan..... | 7 |
| Gambar 3. Parameter pengelasan gesek | 9 |
| Gambar 4. Skematis <i>rotary friction welding</i> | 10 |
| Gambar 5, Skematis <i>friction stir welding</i> | 11 |
| Gambar 6. Skematis linier friction welding..... | 12 |
| Gambar 7. HAZ pengelasan fusi | 12 |
| Gambar 8. HAZ pengelasan gesek | 13 |
| Gambar 9. Kontruksi mesin las gesek tipe putar | 14 |
| Gambar 10. Rangkaian sistem penekanan pneumatik | 19 |
| Gambar 11. HMI nextion 7 inch..... | 20 |
| Gambar 12. Arduino Uno R3..... | 20 |
| Gambar 13. Transistor FQP30N06L mosfet..... | 20 |
| Gambar 14. Aplikasi Arduino IDE..... | 21 |
| Gambar 15. Aplikasi <i>nextion editor</i> | 21 |
| Gambar 16. Wiring diagram..... | 26 |
| Gambar 17. Lokasi penelitian..... | 29 |
| Gambar 18. Mesin las gesek tipe putar..... | 32 |
| Gambar 19. Rangkaian sistem kontrol sebelumnya | 36 |
| Gambar 20. Panel kontrol sebelumnya..... | 36 |
| Gambar 21. Rangkaian listrik sebelumnya dan rangkaian listrik setelah optimasi | 37 |
| Gambar 22. Rangkaian sistem kontrol..... | 38 |
| Gambar 23. Tampilan awal HMI..... | 40 |
| Gambar 24. Pengaturan mode manual..... | 41 |
| Gambar 25. Pengaturan mode otomatis..... | 42 |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 1. Bagian-bagian mesin las gesek..... | 15 |
| Tabel 2. Inventaris material..... | 25 |
| Tabel 3. Alat dan bahan penelitian..... | 27 |
| Tabel 4. Prosedur pengujian..... | 31 |
| Tabel 5. Bahan yang digunakan..... | 34 |
| Tabel 6. Hasil pengujian visual..... | 45 |
| Tabel 7. Hasil pengujian impack..... | 46 |
| Tabel 8. Hasil pengujian mikroskop..... | 49 |



ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan sistem kontrol penekanan pneumatik pada mesin las gesek tipe putar guna memperoleh hasil pengelasan yang lebih presisi dan efektif. Sistem kontrol yang dikembangkan menggunakan mikrokontroler Arduino, *Solenoid Valve*, dan *Human Machine Interface* (HMI). Arduino berfungsi sebagai pusat kontrol untuk mengatur penekanan pneumatik, sedangkan *Solenoid Valve* mengendalikan aliran udara guna penyesuaian tekanan yang tepat selama proses pengelasan. HMI digunakan sebagai antarmuka yang memudahkan operator dalam pengaturan dan pemantauan sistem. Metode penelitian mencakup desain dan implementasi sistem kontrol, pengujian fungsional, serta evaluasi kinerja. Pengujian dilakukan pada tiga material berbeda (aluminium, baja, dan stainless steel) dengan variasi tekanan 60 Psi (4,137 Bar), 70 Psi (4,826 Bar), dan 80 Psi (5,516 Bar). Hasil menunjukkan peningkatan presisi penekanan pneumatik sebesar 15% pada tekanan 70 Psi (4,826 Bar) dan 18% pada 80 Psi (5,516 Bar), dibandingkan dengan sistem sebelumnya. Waktu siklus pengelasan juga berkurang rata-rata 12% berkat penyesuaian tekanan otomatis, yang mengurangi intervensi manual. Kesimpulannya, sistem kontrol yang dikembangkan tidak hanya meningkatkan presisi pengelasan tetapi juga efisiensi proses. Penerapan sistem ini diharapkan membuka peluang bagi integrasi teknologi otomasi yang lebih canggih di masa mendatang, memberikan dasar yang kuat untuk inovasi lebih lanjut dalam sistem kontrol industri pengelasan. Pengujian dilakukan pada material Aluminium 6061, Baja st-37, Stainless Steel 201, dan Tembaga dengan diameter 15 mm, menggunakan tekanan 60 Psi (4,137 Bar) 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 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 las menunjukkan luas 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: sistem kontrol, tekanan pneumatik, arduino, solenoid valve, pengelasan gesek tipe putar, presisi pengelasan, HMI, automasi industri

ABSTRACT

This research aims to improve the pneumatic pressing control system on rotary type friction welding machines in order to obtain more precise and effective welding results. The control system was developed using an Arduino microcontroller, Solenoid Valve, and Human Machine Interface (HMI). The Arduino serves as a control center to regulate the pneumatic press, while the Solenoid Valve controls the airflow for precise pressure adjustment during the welding process. HMI is used as an interface that makes it easy for operators to set up and monitor the system. Research methods include the design and implementation of control systems, functional testing, and performance evaluation. Tests were performed on three different materials (aluminum, steel, and stainless steel) with pressure variations of 60 Psi (4,137 Bar), 70 Psi (4,826 Bar), and 80 Psi (5,516 Bar). The results showed a 15% increase in pneumatic pressing precision at 70 Psi (4,826 Bar) and 18% at 80 Psi (5,516 Bar), compared to the previous system. Welding cycle times are also reduced by an average of 12% thanks to automatic pressure adjustment, which reduces manual intervention. In conclusion, the developed control system not only improves welding precision but also process efficiency. The implementation of this system is expected to open up opportunities for the integration of more advanced automation technologies in the future, providing a solid foundation for further innovation in welding industry control systems. Testing was carried out on Aluminum 6061, st-37 Steel, Stainless Steel 201, and Copper materials with a diameter of 15 mm, using a pressure of 60 Psi (4,137 Bar) and a motor speed of 1,400 rpm. However, welding on Copper is not successful because its high thermal conductivity causes weathering on the rubbing surface before the melting point is reached. This is because copper has a very high thermal conductivity of 380–400 W/m-K, so that the heat from friction quickly spreads throughout the material, resulting in the frictional area not being able to reach plastic temperatures even though the friction coefficient is quite high at 1.00–1.05, so welding does not occur. Visual observation results show the presence of a flash on the 6061 Aluminum joint. However, the flash was not successfully formed 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 stopped rotating before the welding process was completed. The results of the weld fracture test showed that the fibrous fracture area in Aluminum 6061 material was 93.08%, in st-37 Steel material was 45.02%, and in Stainless Steel 201 material was 42.78%.

Keywords: control system, pneumatic pressure, arduino, solenoid valve, rotary type friction welding, precision welding, HMI, industrial automation

BAB I PENDAHULUAN

1. Latar belakang

Pengelasan merupakan metode penyambungan logam yang sering digunakan di bidang teknik dan metalurgi, terutama dalam konteks industri. Terdapat beberapa jenis pengelasan yang banyak digunakan, pada umumnya pengelasan dibedakan menjadi empat 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 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 ketidaksimetrisan, 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, 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. Awal mula pengembangan mesin las gesek adalah untuk melakukan pengelasan poros yang berbeda jenis materialnya, penyambungan las gesek memiliki beberapa parameter yang harus diperhatikan dalam perancangannya seperti kecepatan putaran, tekanan dan waktu pengelasan [2].

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 demikian, terdapat beberapa hal yang dapat dikembangkan untuk dilakukan optimalisasi 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:

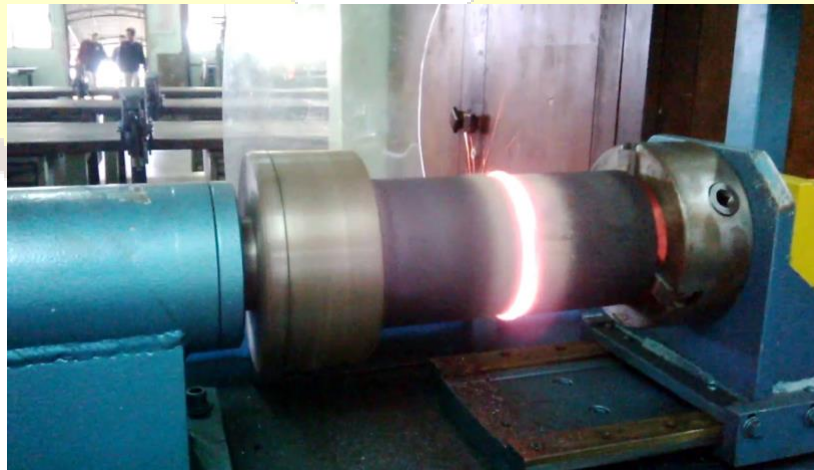
- A. Putaran motor pada mesin las gesek tipe putar dapat divariasikan,
- B. Melakukan peningkatan pada sistem kontrol penekanan pneumatik pada saat proses pengelasan,
- C. Otomasi pada sektor kontrol panel yang berbasis Arduino dan HMI (*Human Machine Interface*),
- D. Menambahkan rasio pada transmisi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

Dalam penelitian kali ini, sistem kontrol penekanan pneumatik akan dikendalikan menggunakan program Arduino Uno yang akan dihubungkan pada panel kontrol HMI. Sistem kontrol ini akan dirancang dengan tujuan untuk mengatur delay pada saat proses pengelasan. 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.

Dalam dunia industri, pengelasan gesek telah menjadi metode yang krusial dan banyak diterapkan untuk menyambung berbagai komponen dengan tingkat kritisitas yang tinggi, seperti poros, roda gigi, dan elemen struktural lainnya. Komponen-komponen tersebut seringkali dirancang untuk menanggung beban yang signifikan dan memerlukan kekuatan serta daya tahan yang sangat tinggi agar dapat berfungsi secara optimal dalam berbagai kondisi operasional. Di sektor dirgantara, teknik pengelasan gesek menawarkan solusi inovatif yang memungkinkan penyambungan material yang berbeda, termasuk titanium dan aluminium, yang merupakan dua jenis material yang sangat penting dalam desain struktural. Penggunaan material ini tidak hanya berkontribusi pada pengurangan berat total, tetapi juga meningkatkan efisiensi bahan bakar. Hal ini berpotensi mengurangi emisi karbon dan biaya operasional secara keseluruhan. Selain itu, dalam industri energi, pengelasan gesek memiliki aplikasi yang sangat berharga, terutama dalam pembuatan komponen turbin dan alat berat yang dirancang untuk beroperasi dalam kondisi ekstrem. Komponen-komponen ini sering kali terpapar pada tekanan dan suhu yang sangat tinggi, sehingga kekuatan serta keandalan sambungan yang dihasilkan dari proses pengelasan

gesek menjadi sangat penting untuk memastikan keselamatan dan efisiensi operasional. Adapun contoh aplikasi las gesek di dunia industri adalah sebagai berikut:

- A. Industri Otomotif: Dalam industri otomotif, las gesek digunakan untuk menyambung komponen-komponen penting seperti poros transmisi, roda gigi, dan bagian-bagian struktural lainnya.
- B. Industri Dirgantara: Teknik las gesek juga diaplikasikan dalam industri dirgantara untuk menyambung material yang berbeda, seperti titanium dan aluminium. Penggunaan las gesek dalam pembuatan komponen pesawat terbang membantu mengurangi berat sambungan tanpa mengorbankan kekuatan, yang berkontribusi pada efisiensi bahan bakar dan kinerja keseluruhan pesawat.
- C. Industri Energi: Dalam sektor energi, las gesek digunakan dalam pembuatan komponen turbin dan alat berat lainnya. Contohnya, sambungan pada turbin gas yang harus bertahan dalam kondisi suhu dan tekanan yang sangat tinggi. Penggunaan las gesek memastikan bahwa sambungan ini memiliki daya tahan yang tinggi dan mampu beroperasi dalam lingkungan yang keras.
- D. Industri Konstruksi: Las gesek juga diterapkan dalam industri konstruksi untuk menyambung elemen-elemen struktural baja. Proses ini memungkinkan penyambungan yang kuat antara kolom dan balok baja, yang penting untuk memastikan stabilitas dan keselamatan bangunan.



Gambar 1. Proses las gesek di industri [3]

2. Rumusan masalah

Identifikasi masalah dari peningkatan mesin las gesek tipe putar adalah sebagai berikut:

- A. Bagaimana peningkatan pada sistem kontrol mesin las gesek tipe putar,
- B. Bagaimana peningkatan mekanisme penekanan pengelasan pada sistem pneumatik mesin las gesek tipe putar,
- C. Bagaimana peningkatan mesin las gesek tipe putar supaya dapat melakukan proses pengelasan dengan material poros dengan diameter yang lebih besar dari 10 mm.

3. Tujuan

Merancang bangun ulang system control penekanan pneumatik pada mesin las gesek tipe putar, agar dapat mengatur waktu pengelasan secara otomatis.

4. Manfaat

Manfaat dari pelaksanaan pengembangan ini yaitu:

- A. Bagi penulis, menambah pemahaman mendalam tentang penerapan sistem kontrol pneumatik dan meningkatkan keterampilan penelitian yang relevan dengan bidang teknik mesin,
- B. Bagi dunia pendidikan, dapat dijadikan referensi penelitian lebih lanjut dalam pengembangan sistem kontrol pada mesin industri lainnya.,
- C. Bagi industri, mendorong peningkatan efisiensi produksi dan kualitas hasil las melalui implementasi sistem kontrol yang lebih presisi.

5. Batasan masalah

Pada proses rancang bangun 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. Rasio putaran *spindle* dilakukan dengan membuat *variable pulley*,
- C. Sistem penekanan pneumatik menjadi otomatis berbasis HMI dan Arduino,
- D. Target diameter benda kerja yang dapat digunakan pada mesin las gesek ini adalah 15 mm.

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 torsi motor 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

Peningkatan sistem kontrol penekanan pneumatik pada mesin las gesek tipe putar telah berhasil mencapai tujuan untuk meningkatkan presisi, efisiensi, dan otomatisasi proses pengelasan. Penggunaan mikrokontroler Arduino sebagai pusat kendali, bersama dengan *solenoid valve* untuk mengatur aliran udara dan *human machine interface* (HMI) untuk antarmuka pengaturan, memungkinkan sistem ini untuk mengelola tekanan pneumatik secara akurat sesuai kebutuhan pengelasan. Peningkatan ini berkontribusi pada kualitas sambungan las yang lebih konsisten dan berulang pada material Aluminium 6061, Baja st-37, dan Stainless Steel 201, meskipun pengelasan pada Tembaga tidak berhasil akibat keterbatasan kecepatan *spindle*. Sistem kontrol yang dikembangkan memungkinkan proses pengelasan otomatis yang mengurangi kebutuhan intervensi manual, sehingga meningkatkan efektivitas dan keandalan mesin las gesek tipe putar dalam aplikasi industri

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

DAFTAR PUSTAKA

- [1] G. Darmawan, "Rancang Bangun *Rotary Type Friction Welding Machine*," pp. 1–143, 2020.
- [2] 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, no. Oktober, pp. 51–60, 2012.
- [3] I. Kurniawan, P. Pujono, M. Nurhilal, and D. Prabowo, "Rancang Bangun Mesin *Friction Welding* untuk Pengelasan Baja St 37 dengan Diameter Maksimal ½ Inch," *Ranc. Bangun Mesin Frict. Weld. untuk Pengelasan Baja St 37 dengan Diam. Maksimal ½ Inch*, vol. 8, no. 1, p. 110, 2022, doi: 10.32497.
- [4] Pujono, D. Prabowo, and E. P. Pratama, "Rancang Bangun *Prototype* Mesin *Friction Welding*," *Ranc. Bangun Prototype Mesin Frict. Weld.*, vol. 5, no. 1, pp. 13–20, 2019, doi: 10.32497.
- [5] A. Prabowo, "Pengaruh Waktu Pengelasan Terhadap Kualitas Sambungan Las Magnesium Az31 dan Alumunium Al 13 dengan Metode Pengelasan Gesek," Universitas Lampung, 2017.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] M. Dzulfikar, H. Purwanto, and M. Abdul Munif, "Pengaruh Tekanan terhadap Sifat Mekanik dan Mikrostruktur pada Sambungan Las Gesek Aluminium AA1100," *Pros. Semin. Nas. Teknoka*, vol. 5, no. 2502, pp. 326–331, 2020, doi: 10.22236/teknoka.v5i.385.
- [9] A. Sasmito, M. N. Iman, 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, 2022, doi:

10.3390/met12010099.

- [10] H. Santoso, A. Surahto, and F. D. Ekawati, "The Effect of Rotation Speed on the Quality of Friction Welding Joints in Aluminum and Copper," vol. 6, pp. 309–318, 2024.
- [11] B. Alamsyah, B. Lianasari, Sistem, and I. Geografis, "Bab ii teori penunjang 2.1," pp. 5–15, 1997.
- [12] A. Sofyan, P. Puspitasari, and D. Baehaki, "Sistem Keamanan Pengendali Pintu Otomatis Berbasis *Radio Frequency Identification* (RFID) Dengan Arduino Uno R3," *J. Sisfotek Glob.*, vol. 7, no. 1, pp. 2088–1762, 2017.
- [13] J. B. Chossat, D. K. Y. Chen, Y. L. Park, and P. B. Shull, "Soft Wearable Skin-Stretch Device for Haptic Feedback Using Twisted and Coiled Polymer Actuators," *IEEE Trans. Haptics*, vol. 12, no. 4, pp. 521–532, 2019, doi: 10.1109/TOH.2019.2943154.
- [14] L. Fikriyah and A. Rohmanu, "Sistem Kontrol Pendingin Ruangan Menggunakan Arduino Web Server Dan *Embedded Fuzzy Logic* Di Pt. Inoac Polytechno Indonesia," *J. Inform. SIMANTIK*, vol. 3, no. 1, pp. 1–23, 2018.
- [15] L. H. Santoso, B. Sunarto, R. Fitri, and I. Permatasari, "Perancangan Alat Pendeteksi Kualitas Udara Dan Sistem Filter Udara Dengan Antarmuka Visual HMI Nextion," vol. 2, no. 2, 2024.
- [16] 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/>.
- [17] AW Nugroho, T. Suwanda, dan SA 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](https://hari.ini.kamu.ac.pengenal//inde.php/st/artikel/v/2047/23) tanggal 23/04/2020.
- [18] 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>
- [19] B. Aji, "Pengaruh Variasi Panjang Sudut Chamfer Baja St41 Pada Pengelasan

- Gesek Baja St41 Dengan Tembaga Terhadap Kekuatan Tarik," Sarjana thesis, Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia, 2016. [Online]. Tersedia: <http://repository.ub.ac.id/id/eprint/145234/>
- [20] Y. Solehudin, G. Santoso, dan A. Bagdja, "Proses Penyambungan Pipa Memanfaatkan Teknologi *Friction Welding Manufacturing* Stainless Steel 316 Dengan Piston Baja 14NiCrMo13," disertasi, Fakultas Teknik Universitas Pasundan, 2023. [Online]. Tersedia: <http://repository.unpas.ac.id/id/eprint/67391>
- [21] BL Sanyoto, N. Husodo, SB 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>.
- [22] 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>
- [23] 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>.
- [24] A. Moarrefzadeh, "Study of Heat Affected Zone (HAZ) in Friction Welding Process," *J. Mech. Eng.*, vol. <https://citeseerx.ist.psu.edu/document>
- [25] 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.
- [26] 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.
- [27] 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.

- [28] Santoso, LH, 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.
- [29] 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.
- [30] 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.

