

**PENGARUH PERBEDAAN PUTARAN TERHADAP
KARAKTERISTIK MEKANIK PADA PENGELASAN GESEK
ANTARA ALUMINIUM 6061 DAN TEMBAGA MURNI**

SKRIPSI



Disusun oleh:

Nadindra Ardiansyah

2003035062

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN INFORMATIKA
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH PROF. DR. HAMKA
JAKARTA
2024**

**PENGARUH PERBEDAAN PUTARAN TERHADAP
KARAKTERISTIK MEKANIK PADA PENGELASAN
GESEK ANTARA ALUMINIUM 6061 DAN TEMBAGA
MURNI
SKRIPSI**

Disusun untuk Memenuhi Persyaratan Kelulusan Sarjana Teknik Mesin



Oleh:

Nadindra Ardiansyah

2003035062

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN INFORMATIKA
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH PROF. DR. HAMKA
JAKARTA
2024**

HALAMAN PERSETUJUAN

**PENGARUH PERBEDAAN PUTARAN KARAKTERISTIK
MEKANIK PADA PENGELASAN GESEK ANTARA
ALUMUNIUM 6061 DAN TEMBAGA MURNI
SKRIPSI**

Dibuat untuk Memenuhi Persyaratan Kelulusan Sarjana Teknik

Oleh:

Nadindra Ardiansyah
2003035062

Telah diperiksa dan disetujui untuk diajukan ke Sidang Ujian Skripsi
Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Dan
Informatika Tanggal, 24 Juli 2024

Pembimbing

Riyan Ariyansyah, S.T., M.T
NIDN. 03240691002

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Mesin

Riyan Ariyansyah, S.T., M.T
NIDN. 03240691002

HALAMAN PENGESAHAN

PENGARUH PERBEDAAN PUTARAN TERHADAP SIFAT MEKANIK
PADA PENGELASAN FRICTION WELDING ALUMINIUM 6061 DAN
TEMBAGA MURNI

SKRIPSI

Oleh:

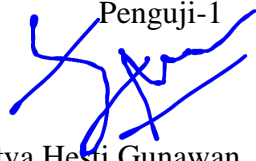
Nadindra Ardiansyah
2003035062

Telah diuji dan dinyatakan lulus dalam Sidang Ujian Skripsi
Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Dan Informatika
UHAMKA
Tanggal, 24 juli 2024

Pembimbing

Riyan Ariyansyah
NIDN. 0324069102

Penguji-1

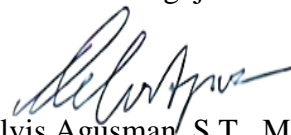


Pancatutva Hesti Gunawan, S.T.,MT.
NIDN. 0315046802

Mengesahkan,
Dekan
Fakultas Teknik UHAMKA

Dr. Dan Mungsidi, S.T., M.Si.
NIDN. 0301126901

Penguji-2



Delvis Agusman, S.T., M.Sc.
NIDN. 0311087002

Mengetahui,
Ketua Program Studi
Teknik Mesin

Riyan Ariyansyah, S.T.,M.T
NIDN. 0324069102

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya, yang membuat pernyataan

Nama : Nadindra Ardiansyah
NIM : 2003035062
Judul skripsi : PENGARUH PERBEDAAN PUTARAN TERHADAP KARAKTERISTIK MEKANIK PADA PENGELASAN GESEK ANTARA ALUMINIUM 6061 DAN TEMBAGA MURNI

Menyatakan bahwa, skripsi ini merupakan karya saya sendiri (ASLI) dan isi dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademis di suatu institusi pendidikan tinggi mana pun, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis dan/atau diterbitkan oleh orang lain, KECUALI yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam Daftar Referensi.

Segala sesuatu yang terkait dengan naskah dan karya yang telah dibuat adalah menjadi tanggung jawab saya pribadi.

Jakarta, 24 Juli 2024



Nadindra Ardiansyah

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum wa rohmatullahi wa barokaatuh, shalawat dan salam kepada Nabi Muhammad dan para pengikutnya

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas berkat dan rahmat-nya, sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“Pengaruh Perbedaan Putaran Terhadap Karakteristik Mekanik Pada Pengelasan Gesek Antara Alumunium 6061 dan Tembaga Murni”**. Adapun tujuan penyusunan skripsi ini yaitu untuk memenuhi prasyarat kurikulum yang berlaku di perguruan tinggi. Dapat tersusunnya skripsi ini berkat bantuan, dukungan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh sebab itu, dalam kesempatan ini ucapkan terima kasih diberikan kepada:

1. Kedua Orang tua saya dan keluarga yang telah memberikan dukungan dan doa'nya sehingga meningkatkan motivasi bagi penulis untuk meyelesaikan apa yang sudah dimulai.
2. Bapak. Riyan Ariyansyah, S.T., M.T Kaprodi Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri dan Informatika, Universitas Muhammadiyah Prof Dr Hamka dan Dosen Pembimbing I yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.
3. Bapak Dr. Dan Mungsidi, S.T., M.Si selaku Dekan Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA.
4. Bapak Yos Nofendri S.Pd., MSME Selaku Dosen Pembimbing PA, yang telah memberikan bimbingan, arahan, serta bantuan dalam mengerjakan skripsi ini.
5. Semua pihak yang sudah membantu selama masa perkuliahan hingga penyelesaian skripsi yang tidak dapat disebut satu- persatu

Skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan. Kritik dan saran pembaca diperlukan untuk evaluasi kedepan. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua yang membacanya. *Wassalamu'alaikum wa rohmatullahi wa barokaatuh*

PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA (UHAMKA), saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Nadindra Ardiansyah

NIM : 2003035062

Program Studi : Teknik Mesin

Menyetujui, memberikan Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*non-exclusive royalty free right*) kepada Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA (UHAMKA) atas karya ilmiah saya beserta perangkat yang ada (jika diperlukan) yang berjudul:

PENGARUH PERBEDAAN PUTARAN TERHADAP KARAKTERISTIK
MEKANIK PADA

PENGELASAN GESEK ANTARA ALUMINIUM 6061 DAN TEMBAGA
MURNI

Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Segala sesuatu yang terkait dengan naskah dan karya yang telah dibuat adalah menjadi tanggung jawab saya pribadi.

Jakarta, 24 Juli 2024



Nadindra Ardiansyah

ABSTRAK

Pengaruh Perbedaan Putaran Terhadap Karakteristik Mekanik Pada Pengelasan Gesek Antara Alumunium 6061 dan Tembaga Murni.

Nadindra Ardiansyah

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi kecepatan putaran (RPM) pada proses pengelasan gesek (friction welding) terhadap sifat mekanik dari sambungan antara alumunium dan tembaga. Tiga variasi kecepatan putaran yang digunakan dalam penelitian ini adalah 1000 rpm, 1300 rpm, dan 2000 rpm. Pengamatan difokuskan pada perubahan kekuatan Tarik dan zona pengelasan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi RPM memiliki pengaruh signifikan terhadap sifat mekanik sambungan yang dihasilkan. Peningkatan RPM signifikan terhadap sifat mekanik sambungan yang dihasilkan. Peningkatan RPM cenderung meningkatkan kekuatan Tarik, namun pada titik tertentu dapat mengakibatkan kerusakan mikrostruktural yang menurunkan kualitas sambungan. RPM 1300 ditemukan sebagai parameter optimal yang menghasilkan keseimbangan terbaik kekuatan Tarik dan kualitas keseluruhan zona pengelasan. Temuan ini diharapkan dapat memeberikan paduan praktis dalam optimasi parameter pengelasan gesek untuk material alumunium dan tembaga.

Kata kunci: Friction Welding, RPM, Sifat Mekanik, Alumunium, Tembaga, Kekuatan Tarik.

The Effect of Differences in Rotation on the Mechanical Characteristics of Friction Welding Between Aluminum 6061 and Pure Copper.

Nadindra Ardiansyah

This research aims to analyze the effect of variations in rotational speed (RPM) in the friction welding process on the mechanical properties of the connection between aluminum and copper. The three variations of rotation speed used in this research are 1000 RPM, 1300 RPM and 2000 RPM. Observation focused on changes in tensile strength and welding zone. The research result shows that variations in RPM have a significant influence on the mechanical properties of the joints produced. The increase in RPM significantly affects the mechanical properties of the resulting joint. Increasing RPM tends to increase tensile strength, but at a certain point it can result in microstructural damage which reduces the quality of connection. RPM 1300 was found to be the optimal parameter resulting in the best balance of tensile strength and overall quality of the welding zone. It is hoped that these findings will provide a practical solution for optimizing friction welding parameters for aluminum and copper material.

Keywords: Friction Welding, Mechanical Properties, Alumunium, Copper, Tensile Strength.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERSETUJUAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
KATA PENGANTAR	v
PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	vi
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR NOTASI.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Sistemastika Penulisan.....	4
BAB 2. DASAR TEORI.....	6
2.1 Kerangka Teori.....	6
2.2 Penjelasan Pengelasan gesek.....	6
2.3 Macam – macam Proses dan Jenis-jenis pengelasan.....	7
2.4 Rotary Friction Welding (RFW)	13
2.5 Jenis-jenis Sambungan Las.....	14
2.6 Hasil Pengujian Pengelasan Gesek.....	15
2.7 Tembaga Murni	19
2.8 Sifat Mekanik	20

2.9 Standar ASTM.....	20
BAB 3. METODOLOGI.....	24
3.1 Alur Penelitian.....	24
3.2 Alat dan Material.....	25
3.2.1 Alat Penelitian	25
3.2.2 Bahan Penelitian	27
3.3 Tempat dan Waktu Penelitian	27
3.3.1 Tempat Penelitian	27
3.3.2 Waktu Penelitian.....	28
3.4 Teknik Pengumpulan Data	28
3.5 Spesimen Pengujian Tarik.....	28
3.6 Metode Penelitian Eksperimental.....	29
3.7 Pengumpulan Data	31
BAB 4 . HASIL DAN PEMBAHASAN.....	32
4.1 Pengolahan Data.....	32
4.2 Pembahasan dan Analisa Hasil Pengujian Tarik.....	32
4.3 Grafik Suhu Spesimen Suhu Uji Tarik.....	33
4.3.1 Grafik Spesimen Suhu Variasi 1000 RPM	33
4.3.2 Grafik Spesimen Suhu Variasi 1300 RPM	34
4.3.3 Grafik Spesimen Suhu Variasi 2000 RPM	35
4.4 Hasil Spesimen Pengujian Tarik	36
4.4.1 Hasil Grafik Pengujian Tarik Spesimen 1000 RPM.....	36
4.4.2 Hasil Grafik Pengujian Tarik Spesimen 1300 RPM.....	37
4.4.3 Hasil Grafik Pengujian Tarik Spesimen 2000 RPM.....	38
4.4.4 Hasil Grafik Keseluruhan Spesimen Uji Tarik.....	40
4.3 Data Hasil Pengujian Vickers.....	41
4.3.1 Hasil Uji Kekerasan Vickers.....	41
4.3.2 Analisis Kekerasan Vickers	42
BAB 5. KESIMPULAN.....	44
5.1 Kesimpulan.....	44
5.2 Saran	44
DAFTAR PUSTAKA	46

LAMPIRAN 49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Klasifikasi berdasarkan macam-macam pengelasan	7
Gambar 2. 2 Proses SMAW	8
Gambar 2. 3 SAW (Submerged Arch Welding)	9
Gambar 2. 4 ESW (Electro Slag Welding)	10
Gambar 2. 5 EWS (Stud Welding).....	10
Gambar 2. 6 Las Gesek (Friction Welding).....	11
Gambar 2. 7 ERW (Electric Resistant Welding)	12
Gambar 2. 8 EBW (Electron Beam Welding).....	13
Gambar 2. 9 Proses Rotary Welding.....	14
Gambar 2. 10 Jenis-Jenis sambungan Las.....	14
Gambar 2. 11 Pengujian Tarik	15
Gambar 2. 12 Kurva Tegang-Regangan	16
Gambar 2. 13 Sampel Standar Uji Trik E8 ASTM Volume 3	17
Gambar 2. 14 Metode Pengujian Kekerasan Vickers	19
Gambar 2. 15 Spesimen Uji Tarik Standar ASTM	21
Gambar 3. 1 Gambar ASTM E8	29
Gambar 3. 2 Gambar Hasil Proses Friction Welding.....	31
Gambar 4. 1 Gambar ASTM E8	32
Gambar 4. 2 Gambar Grafik Suhu Variasi 1000RPM	33
Gambar 4. 3 Gambar Grafik Suhu Variasi 1300 RPM	34
Gambar 4. 4 Gambar Grafik Suhu Variasi 2000 RPM	35
Gambar 4. 5 Grafik hasil uji tarik variasi 1000 rpm	36
Gambar 4. 6 Gambar patahan uji tarik variasi 1000 RPM.....	37
Gambar 4. 7 Grafik hasil uji tarik variasi 1300 rpm	37
Gambar 4. 8 Gambar patahan uji tarik variasi 1300 RPM.....	38
Gambar 4. 9 Grafik hasil uji tarik variasi 2000 rpm	38
Gambar 4. 10 Gambar patahan uji tarik variasi 2000 RPM.....	39
Gambar 4. 11 Grafik keseluruhan specimen uji tarik	40
Gambar 4. 12 Gambar lokasi pengambilan titik kekerasan Vickers	41
Gambar 4. 13 Grafik hasil uji Vickers	42

DAFTAR NOTASI

Simbol	Keterangan
RFW	Rotary Friction Welding
RPM	Revolution Per Minute (putaran per menit)
F	Gaya atau Tekanan (dalam kilogram atau Newton)
t	Waktu (dalam detik atau menit)
T	Temperature (dalam derajat Celsius atau Kelvin)
d	Diameter (dalam millimeter)
L	Panjang (dalam militer)
E	Moudulus elastisitas (dalam GPa)
σ	Tegangan (dalam MPa atau N/mm ²)
ϵ	Regangan
H	Kekerasan (dalam Vickers atau Rockwell)
t	Waktu

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran a	49
Lampiran b	49
Lampiran c.....	50
Lampiran d.....	50
Lampiran e	51
Lampiran f.....	51

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Dalam aplikasi luar angkasa, pengelasan gesekan putar berfungsi sebagai metode untuk menyambung komponen silinder seperti katup mesin, setang, batangan sebagai bagian lainnya. Teknik RFW, suatu bentuk pengelasan solid-state, menawarkan solusi terhadap tantangan yang ditimbulkan oleh pengelasan fusi ketika menyatukan material dengan titik leleh yang bervariasi. Dengan menggunakan pengelasan geser, penyambungan material yang berbeda seperti AA 6061 dan tembaga dapat dilakukan, biarpun titik melehnya tidak sama. Kemampuan ini tidak dapat dicapai dengan proses fusi tradisional. (Chapke et al., 2020)

Proses *friction welding* melibatkan pemanfaatan panas yang dihasilkan gesek dari antar bagian atas yang digabungkan. Metode ini banyak digunakan dalam industri dirgantara, manufaktur dan otomotif karena kemampuannya memproduksi senyawa unggul tanpa mengharuskan bahan pengisi penambahan. Kecepatan atau putaran per menit (RPM) merupakan factor penting dalam proses pengelasan gesekan karena berdampak langsung pada distribusi panas dan kualitas sambungan yang terbentuk. Dengan meningkatkan kecepatan putaran, distribusi panas ditingkatkan, sehingga menghasilkan pembentukan sambungan yang lebih kuat dan kaku. (Erfiansyah, 2023)

Pada umumnya, ketika mengelas aluminium, dua metode yang umum digunakan adalah pengelasan busur tungsten gas (GTAW) dan pengelasan busur logam gas (GMAW). Namun, kedua teknik tersebut menghadapi tantangan selama proses pengelasan. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa aluminium merupakan konduktor panas yang sangat baik dan memiliki titik leleh yang relative rendah. Selain itu, adanya lapisan oksidan pada permukaan menambah kerumitan pemanasan atau peleburan bahkan sebagian kecil aluminium. (Wiryosumarto & Okumura, 2000a). Cacat umum saat mengelas aluminium menggunakan proses GTAW atau GMAW adalah terbentuknya porositas. Factor penyebab porositas yang paling mendasar adalah terlarutnya udara kedalam logam las pada saat proses pengelasan. Porositas adalah salah satu jenis cacat lubang yang disebabkan oleh

terperangkapnya gas pada saat proses pengelesan, biasanya disebabkan karena elektroda basah atau jarak elektroda dengan benda terlalu jauh, sehingga fungsi pelindung benda terhadap benda terganggu. Elektroda yang rusak tidak akan berfungsi. (Edward & Putera, 2013).

Perbedaan metalurgi dalam proses pengelasan menimbulkan tantangan tersendiri dan membutuhkan perhatian khusus ketika mengelas material yang berbeda. Misalnya, paduan aluminium (Al) yang terdiri dari 99% aluminium memiliki sifat hasil dan kekuatan tarik yang sangat baik, namun paduan tembaga (Cu) tidak dapat mengalami perlakuan panas. Akibatnya perbedaan ini akan mempengaruhi zona-zona seperti HAZ (Heat Affected Zone), TMAZ (Thermo-Mechanically Affected zone), dan WM (Weld Metal). (Griffing, 1972). Oleh karena itu sifat mekanik pada zona HAZ tidak mengalami perubahan yang signifikan dibandingkan dengan logam dasar, namun pada zona HAZ struktur mikronya berbeda dibandingkan dengan logam dasar, hal ini disebabkan oleh tingginya temperature yang terjadi pada saat proses pengelasan. (Taban et al., 2010)

Karena setiap bentuk pengelasan mempunyai sifat yang berbeda-beda, maka jenis yang digunakan tergantung pada kebutuhan. Teknik pengelasan modern berkembang dari kebutuhan untuk mencampur bahan dengan logam dan dari kebutuhan untuk menggabungkan bahan yang berbeda dengan logam. Hal ini menyebabkan berkembangnya pengelasan logam yang berbeda. menggabungkan dua bahan yang berbeda menjadi satu. Industri kimia, serta teknik mesin dan listrik, sering kali menggunakan pengelasan untuk menggabungkan dua bahan berbeda. Kedua bahan ini bersama-sama menghasilkan karakteristik bahan yang baru. Pertimbangan campuran komponen tembaga dan aluminium yang ditemukan pada pengikat kabel. Nama lain dari kabel Schoen adalah cable lugs. Kabel Scjoen bentuknya mirip dengan tabung dan sering digunakan untuk menyambung komponen tembaga ke sambungan kabel aluminium. (Saefuloh et al., 2023)

Wijayanto dkk. (2011) menggunakan paduan aluminium seri 6061 dan 2024, sesuaikan kecepatan pengelasan menjadi 50, 100, dan 150 mm/menit dengan tetap mempertahankan kecepatan mesin pada 1500 rpm. digunakan perkakas FSW baja EMS 45 dengan Panjang 100 mm, diameter pin pahat 3 mm, dan diameter bahu

20 mm. jika digunakan kecepatan pengelasan 50 mm/menit maka hasil uji tarik maksimal adalah 109 kg/mm^2 . AL -6061 tidak sekeras paduan alumunium tipe 2024.

Nugroho (2016) kuningan dan alumunium digunakan untuk menghasilkan kecepatan putaran bit 1550 rpm dan feed rate 20 mm/menit. Suhu yang termasuk dalam proses pengelasan ini bisa mencapai 300°C . Lasan yang mendapat perlakuan panas penuaan buatan mempunyai hasil uji kekerasan paling rendah (278,4 VHN), sedangkan las yang tidak mendapat perlakuan panas mempunyai hasil uji kekerasan paling besar (278,4 VHN). Sedangkan produk uji las yang tidak diberi perlakuan panas dan hasil uji tarik serta perlakuan panas penuaan buatan mempunyai nilai tertinggi (50,91 MPa). mempunyai nilai paling rendah (12,96 MPa).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana variasi RPM selama pengelasan gesekan tembaga dan aluminium mempengaruhi morfologi patah dan kekuatan tarik material. Dengan menggunakan teknik eksperimen dengan variasi RPM 1000, 1300, dan 2000 serta tekanan tempa 20 kg/cm^2 , akan dinilai pengaruh tekanan gesekan terhadap kualitas sambungan yang direkatkan. Untuk meningkatkan kualitas sambungan gesekan, diharapkan temuan penelitian ini dapat memberikan dampak yang lebih besar terhadap kekuatan tarik dan jenis patah tembaga dan alumunium.

1.2 Perumusan Masalah

Latar belakang informasi diatas menunjukkan bahwa pada penelitian ini akan dilakukan pengelasan gesek dengan metode Rotary Friction Welding (RFW) yang berbeda dengan tembaga karena sisi yang bergerak adalah alumunium, sisi yang mundur juga alumunium) pengujian sifat mekanik meliputi uji tarik dan uji kekerasan Vickers. Oleh karena itu, permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini adalah pengaruh perubahan putaran dan kecepatan spindle terhadap sifat mekanik sambungan las gesek pada material alumunium dan tembaga

1.3 Batasan Masalah

Pada langkah terakhir proses penulisan, penulis akan menilai permasalahan yang akan dibahas dengan contoh berikut :

1. Untuk memahami putaran rpm dalam proses pengelasan gesekan dengan putaran rpm 1000, 1300 dan 2000.
2. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari alumunium 6061 an tembaga murni dengan Panjang 72 mm dan diameter 12 mm.

1.4 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui kekuatan tarik maksimum yang dapat ditahan oleh sambungan las sebelum mengalami kegagalan.
2. Untuk mengetahui pengukuran kekerasan kekerasan di berbagai titik pada sambungan las, termasuk daerah las, daerah pengaruh panas (HAZ), dan bahan dasar.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Memberikan alternative pengelasan gesek alumunium dan tembaga dengan metode RFW
2. Memperoleh informasi tentang variasi pengelasan gesek antara alumunium dengan tembaga dengan metode RFW
3. Proses pengelasan gesekan dapat ditingkatkan untuk menghasilkan sambungan yang lebih kuat dan tahan lama dengan memahami efek fluktuasi RPM.

1.6 Sitemastika Penulisan

Tulisan ini dibagi menjadi banyak bagian untuk memudahkan pencarian materi yang diperlukan dan menunjukkan bahwa tugas diselesaikan secara metodis. Bab-babnya disusun sebagai berikut :

BAB 1 PENDAHULUAN

Pada bab 1 berisi tentang latar belakang rotary friction welding, aluminium 6061, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB 2 DASAR TEORI

Pada bab 2 berisi tentang dasar teori mengenai pengelasan, klasifikasi pengelasan, macam macam proses dan jenis pengelasan, las gesek, jenis jenis sambungan las, aluminium, tembaga, sifat sifat tembaga, dan *standart* ASTM

BAB 3 METODOLOGI

Pada bab 3 meliputi metodologi penelitian mengenai alur penelitian dimulai dari pembuatan alat hingga mendapatkan kesimpulan. terdapat prosedur penelitian, pengambilan serta pengolahan data.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab 4 berisi tentang hasil dan pembahasan dari penelitian yang telah dilakukan berisikan tentang pembahasan dari data yang telah didapat dari hasil penelitian dan diolah sesuai dengan tujuan yang ingin diperoleh.

BAB 5 KESIMPULAN

Pada bab 5 berisikan kesimpulan dari hasil pengujian tarik dan kekerasan vickers dan saran dari hasil penelitian yang telah dilakukan oleh penulis

BAB 2. DASAR TEORI

2.1 Kerangka Teori

Dengan kemajuan metode pengelasan yang semakin pesat, saat ini penelitian tentang pengelasan gesek rotary semakin banyak dilakukan. Teknologi pengelasan ini sangat berguna untuk memperpanjang silinder spesimen. Perkembangan pemikiran manusia juga menghasilkan gagasan baru terkait pengelasan gesek rotary, seperti menggunakan mesin bubut yang ada untuk proses tersebut, meskipun kapasitasnya mungkin tidak sebesar mesin khusus pengelasan gesek rotary. Para peneliti memberikan berbagai variasi dan parameter untuk mencapai hasil terbaik.

Teknik penyatuan dua atau lebih unsur logam dengan energi panas disebut pengelasan. American Welding Society (AWS) mendefinisikan pengelasan sebagai proses metalurgi yang digunakan untuk menggabungkan logam atau paduan yang dibentuk dalam kondisi cair. Singkatnya, proses pengelasan melibatkan penerapan energi panas untuk menyatukan beberapa batang logam.. (Wiryosumarto & Okumura, 1981)

Peleburan atau pemanasan adalah proses yang digunakan untuk menggabungkan dua komponen logam menjadi satu. Aksi busur atau logam itu sendiri melelehkan kedua ujung logam yang harus dihubungkan, sehingga membentuk suatu massa padat yang sulit untuk dipecah. (Arifin, 1997)

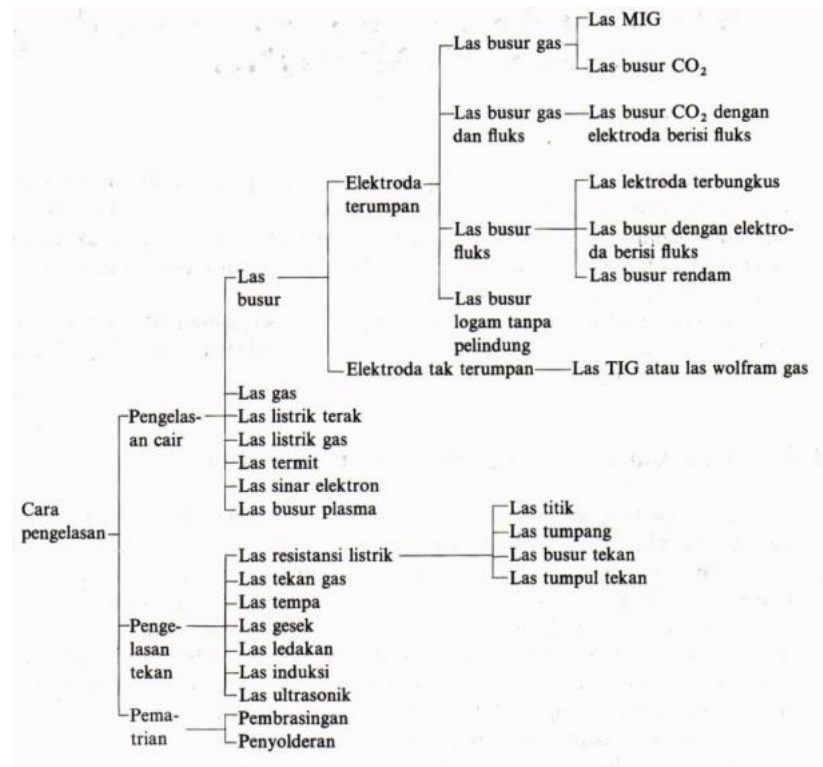
2.2 Penjelasan Pengelasan gesek

Ada tiga kategori utama pengelasan, yaitu sebagai berikut :

1. Teknik pengelasan cair adalah yang menggunakan sumber panas seperti busur atau gas pembakaran untuk memanaskan sambungan hingga mencapai titik leleh.
2. Mematri adalah proses penyambungan dua bahan logam atau lebih dengan menggunakan bahan pengisis yang mempunyai titik leleh lebih rendah dari logam dasar. Proses ini melibatkan pemanasan logam dasar sehingga bahan pengisis dapat meleleh dan mengalir ke dalam

sambungan, membentuk ikatan yang kuat saat mendingin dan mengeras. (Wiryo Sumarto & Okumura, 2000b)

3. Pengelasan bertekanan merupakan metode pengelasan yang menggunakan tekanan untuk menyatukan dua permukaan logam dengan atau tanpa pemanasan



Gambar 2. 1 Klasifikasi berdasarkan macam-macam pengelasan

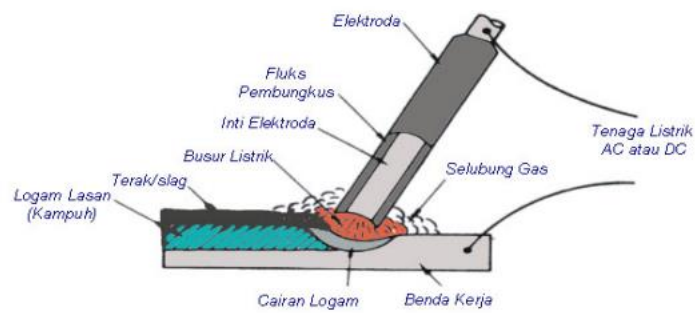
(Sumber: <https://digilib.unila.ac.id/19976/19/II.pdf>)

2.3 Macam – macam Proses dan Jenis-jenis pengelasan

a. SMAW (Shield Metal Arch Welding)

Menggunakan sumber panas listrik dan komponen tambahan, pengelasan lengkung logam pelindung, juga disebut sebagai pengelasan busur logam manual (MMAW) atau pengelasan elektroda putaran, adalah metode permanen untuk menggabungkan dua atau lebih logam. Elektroda yang telah dibungkus merupakan

bahan pengisi. Saat menggunakan elektroda pangkuan untuk pengelasan, Busur yang terbentuk antara ujung elektroda dan logam dasar/benda kerja menghasilkan panas. Ujung elektroda (kawat las) dan benda kerja dicairkan secara lokal oleh panas ini. Peralatan las menciptakan busur. Sebuah kawat yang dilapisi pelindung berbentuk fluks berfungsi sebagai elektroda. Logam cair dari elektroda dan logam dasar mengisi lasan selama proses peleburan ini, menciptakan kawah cair yang kemudian mengeras menjadi massa las dan terak.

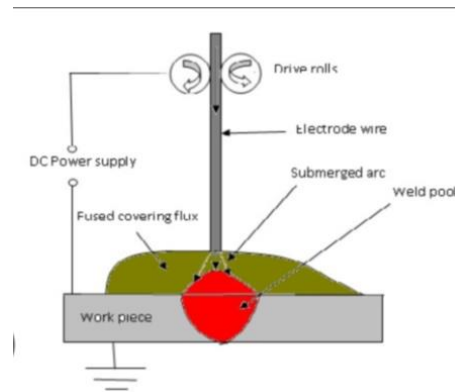


Gambar 2. 2 Proses SMAW

(Sumber: <https://staffnew.uny.ac.id/upload/132299864/pengabdian/Materi+PPM+SMAW+pakem.pdf>)

b. SAW (Submerged Arch Welding)

SAW (*Submerged Arch Welding*) pengelasan busur terendam adalah proses pengelasan otomatis yang menutupi busur dan logam cair dengan lapisan bubuk fluks untuk meredam keadaan busur didalam fluks sambil terus mengumpan kawat pengisi. Karena kehilangan panas akibat radiasi sangat rendah, efisiensi perpindahan panas dari elektroda ke logam las sangat tinggi, sekitar 90%. Karena busur tidak terlihat pada pengelasan, sangat sulit untuk mengontrol jatuhnya ujung busur. Mesin las yang digunakan menggunakan arus searah sehingga masukan panas dapat dikontrol. (Wiryosumarto & Okumura, 1981)



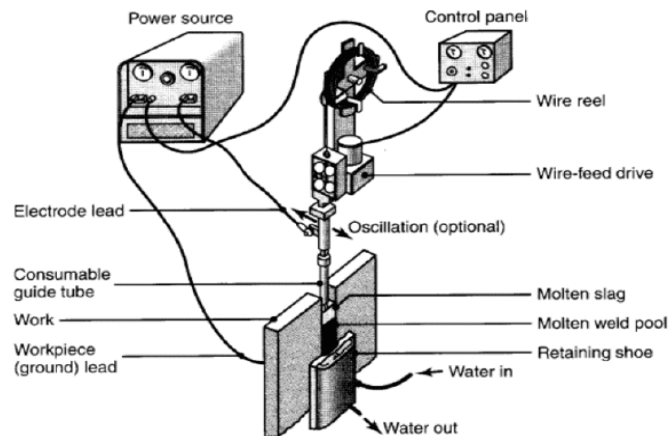
Gambar 2. 3 SAW (Submerged Arch Welding)

(Sumber : <https://www.researchgate.net/figure/>

Schematic-arrangement-of-submerged-
arc-welding_fig1_265009620)

c. ESW (Electro Slag Welding)

Electro Slag Welding (ESW), Ini adalah terak cair yang melelehkan permukaan benda kerja yang akan disambung dengan logam tambahan. Saat pengelasan berlangsung, sejumlah besar terak bergerak melintasi penampang sambungan, dan terak melindungi kolam las. Proses ini dimulai saat arc dimulai. Busur memanaskan fluks granular dan melelehkannya menjadi terak. Ketika terak cukup terbentuk, terak konduktif akan memadamkan busur. Karena adanya hambatan dari slag, maka slag yang ada tetap cair ketika arus mengalir antara elektroda dan benda kerja.



Gambar 2. 4 ESW (Electro Slag Welding)

(Sumber : Wiryosumarto, Husodo 2000)

d. EWS (Stud Welding)

Electro Welding Stud (EWS), teknik pengelasan yang mengelas bauta tau sekrup logam kek permukaan benda kerja. Teknologi ini cepat, efisien, dan menghasilkan ikatan yang sangat kuat, sehingga banyak digunakan dalam bidang teknik mesin, teknik struktur, dan berbagai aplikasi industri lainnya.

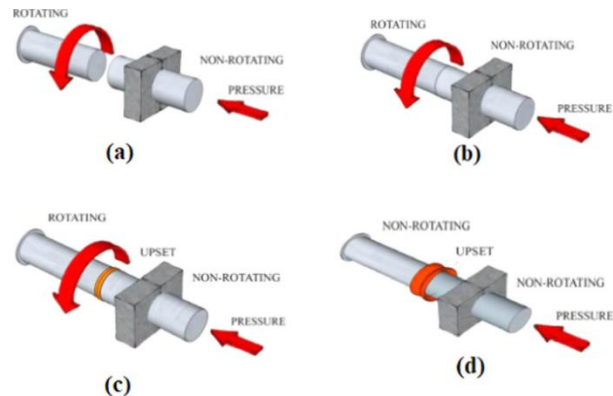


Gambar 2. 5 EWS (Stud Welding)

(Sumber : Wiryosumarto, Husodo 2000)

e. Pengelasan Gesek (Friction Welding)

Suatu metode penyambungan logam dengan menggunakan panas yang dihasilkan oleh gesekan antara dua permukaan yang berputar atau bergerak relative satu sama lainnya. Prosesnya tidak memerlukan bahan pengisis atau gas pelindung dan menghasilkan senyawa yang kuat dan berkualitas tinggi.. (Prabowo, 2016)



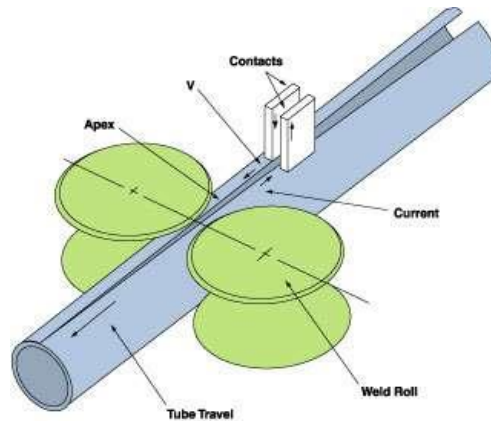
Gambar 2. 6 Las Gesek (Friction Welding)

(Sumber : <https://www.researchgate.net/figure/>

Steps-involved-in-Friction-welding-process-a-
two-materials-out-of-
which-one-is-being_fig1_364154929)

f. ERW (*Electric Resistant Welding*)

(*Electric Resistant Welding*) ERW adalah metode pengelasan yang menggunakan arus listrik untuk menghasilkan panas yang dibutuhkan untuk menyambung logam. Dalam proses ini dua atau lebih bahan logam dilapisi Bersama di bawah tekanan dan arus listrik yang kuat dialirkan melalui bahan tersebut. Panas yang dihasilkan oleh hambatan listrik pada daerah kontak logam menyebabkan logam melebur dan meleleh. Setelah aliran dihentikan, tekanan konstan diberikan dan sambungan dibiarkan dingin dan mengeras.

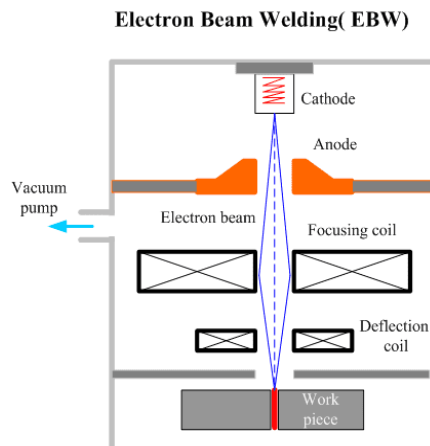


Gambar 2. 7 ERW (Electric Resistant Welding)

(Sumber : <https://www.thefabricator.com/tubepipejournal/article/shopmanagement/electric-resistance-welding-at-a-glance>)

g. EBW (*Electron Beam Welding*)

(Electron Beam Welding) EBW, merupakan teknik pengelasan yang menggunakan tumbukan elektron. Dalam proses ini, material dilebur dan dicairkan oleh panas yang dihasilkan oleh berkas elektron yang difokuskan pada benda yang akan dilas. Proses pengelasan ini dilakukan dalam lingkungan vakum, sehingga mencegah oksidasi dan kontaminasi.



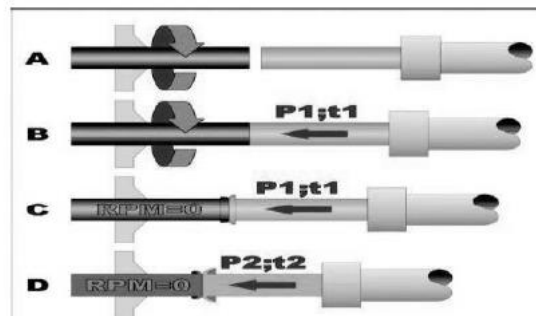
Gambar 2. 8 EBW (Electron Beam Welding)

(Sumber : International Journal of Emerging Tecnology and Advance)

2.4 Rotary Friction Welding (RFW)

Proses pengelasan yang dihasilkan dari panas yang dihasilkan dari pengotak-atik kedua ujung permukaan benda kerja disebut dengan pengelasan tinker putar. Panas dari kedua ujung permukaan benda kerja dan beban antara material yang berputar dan yang diam, atau putaran berlawanan, inilah yang menimbulkan gesekan.

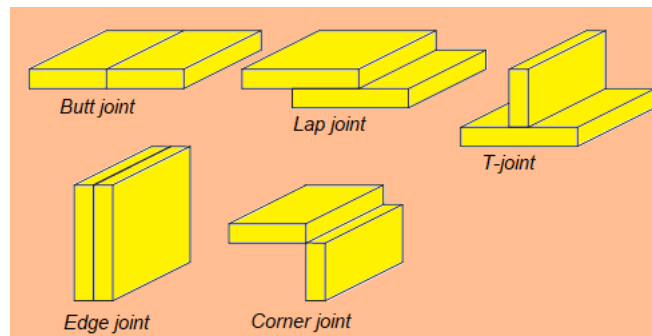
Pertumbuhan perhatian pada teknologi pengelasan gesek dikarenakan teknik pengelasan ini relative gampang diatur, memiliki proses cepat, tidak memerlukan logam pengisi, dan mengasilkan sambungan yang berkualitas. Mesin pengelasan gesek mirip dengan mesin bubut, sehingga pengoperasiannya lebih mudah. Dalam beberapa kasus, mesin bubut dapat digunakan untuk melakukan proses pengelasan gesek, namun hanya dalam Batasan diameter tertentu.



Gambar 2. 9 Proses Rotary Welding

(Sumber : <https://e-journal.trisakti.ac.id/index.php/pakar/article/download/4179/3319/1074>)

2.5 Jenis-jenis Sambungan Las



Gambar 2. 10 Jenis-Jenis sambungan Las

(Sumber : https://www.researchgate.net/publication/341879773_SAMBUNGAN_LAS)

1. sambungan butt joint adalah sambungan dimana dua benda kerja berada pada bidang yang sama dan disambung rapat pada ujung kedua benda kerja.
2. Sambungan perekat adalah sambungan yang terdiri dari 2 bagian yang diletakkan diatas satu sama lainnya.
3. Sambungan T joint adalah sambungan yang salah satu bagiannya tegak lurus dengan bagian lainnya sehingga memebnetuk huruf “T”

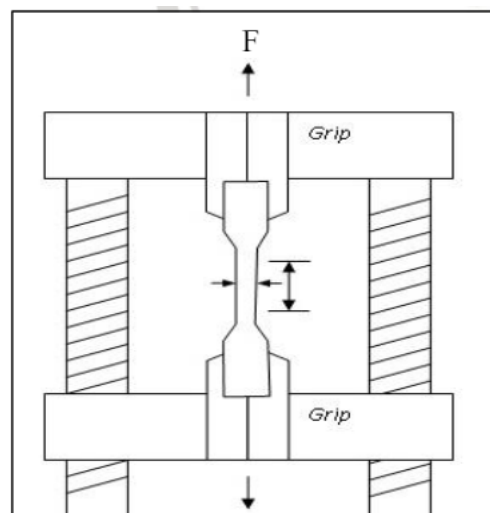
4. Edge joint adalah sambungan dimana 2 benda kerja sejajar satu sama lainnya, dengan syarat salah satu ujung sisi kedua benda kerja berada pada bidang yang sama
5. Corner joint adalah sambungan dimana 2 benda kerja membentuk ujung sudut pada ke 2 nya dapat disambungkan pada bagian ujung dari sudut tersebut

2.6 Hasil Pengujian Pengelasan Gesek

Beberapa teknik penelitian yang digunakan dalam menguji hasil las meliputi pengujian tarik dan pengujian kekerasan :

1. Pengujian Tarik

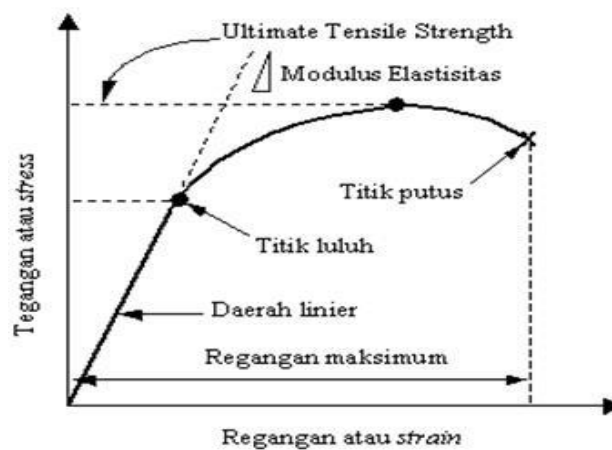
Kekuatan sambungan logam las dapat dievaluasi dengan pengujian yang dilakukan untuk mengetahui kekuatan sambungan logam. Salah satu uji mekanis yang dapat digunakan untuk mengukur kekuatan sambungan logam las yang berbahaya adalah tegangan tarik standar. Komposisi logam las, bentuk, distribusi tegangan, zona HAZ, komposisi logam dasar, dan kualitas logam las adalah beberapa contoh dari faktor-faktor tersebut berpengaruh signifikan terhadap kekuatan tarik sambungan las. (Wiryosumarto & Okumura, 1981)



Gambar 2. 11 Pengujian Tarik

(Sumber : (Wiryosumarto & Okumura, 1981))

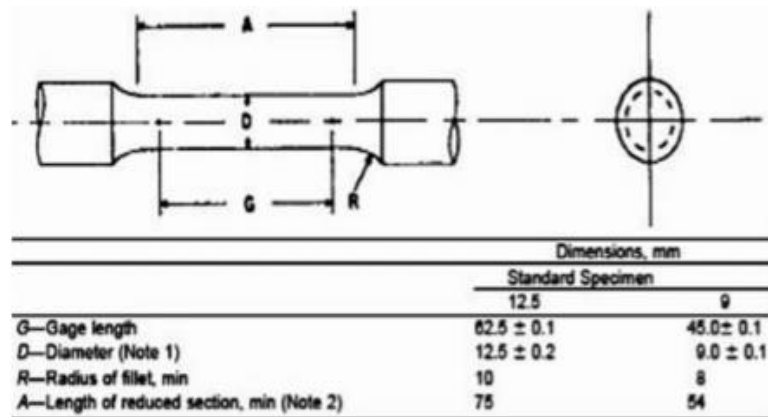
Untuk melakukan pengujian tarik diperlukan batang tarik. Untuk membuat drawbar sesuai dengan standar, sampel uji digunakan. Pengujian tarik hanyalah salah satu metode yang tersedia untuk menentukan karakteristik mekanik suatu material. Pasangkan kedua ujung benda uji pada rangka beban yang dibuat khusus untuk pengujian tarik. Mesin uji universal, juga dikenal sebagai mesin uji tarik, menyaring benda uji tarik hingga pecah dengan menerapkan gaya tarik yang terkontrol padanya.. (Prabowo, 2016).



Gambar 2. 12 Kurva Tegang-Regangan

(Sumber : (Wiryosumarto & Okumura, 1981)

Uji Tarik banyak digunakan untuk mengetahui kekuatan material dan menguji kelayakan spesifikasi material. Pada uji Tarik diamati pemanjangan sampel yang secara terus menerus dikenai gaya Tarik vertical. Kurva tegangan-regangan dibentuk dengan mengukur kenaikan beban memanjang pada sampel. Seperti terlihat pada gambar di bawah, benda uji yang digunakan dalam penelitian ini telah memenuhi standar uji tarik ASTM E8.



Gambar 2. 13 Sampel Standar Uji Trik E8 ASTM Volume 3

Sumber : <https://bloguji.google.com>

2. Pengujian Vickers/Kekerasan

Uji kekerasan Vickers adalah salah satu teknik untuk mengetahui kekerasan suatu material. Ini melibatkan penekanan inti uji, dalam bentuk prisma, ke permukaan benda yang diuji. Berdasarkan ukuran bekas tusukan, kekerasan material dapat dihitung secara akurat. Metode Vickers berguna untuk mengukur kekerasan berbagai material, mulai dari logam hingga keramik. Keunggulannya adalah kemampuannya dalam memberikan hasil nyata dan dapat diandalkan. Hasil pengujian Vickers terkadang dapat mengungkapkan informasi penting tentang sifat mekanik dan kekuatan suatu material, yang berguna untuk berbagai aplikasi industri.

Di antara teknik yang digunakan dalam prosedur indentasi adalah :

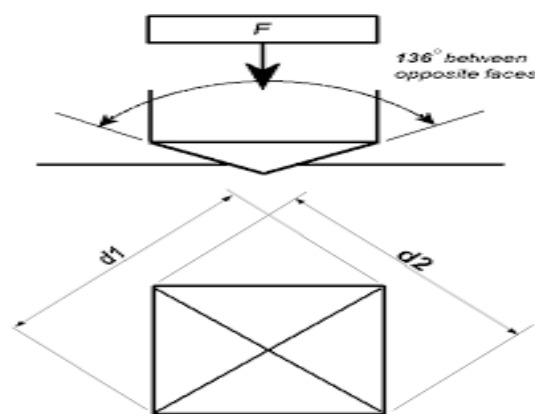
- a. Uji Identifikasi Bola (Brinell) melibatkan penerapan gaya tekan statis pada bola baja yang mengeras (terbuat dari baja krom) dengan diameter tertentu pada permukaan logam. Logam yang diperiksa harus memiliki permukaan yang halus dan rata. Diameter tinggi indenter diukur untuk memastikan kekerasan logam yang diuji, setelah penjepit dan bola baja dilepas dari indenter.

- b. Uji Identasi Piramida (Vickers), merupakan metode pengujian kekerasan dimana inti uji berbentuk berlian dengan sudut ujung 136° ditekan pada permukaan material yang diuji. Setelah dilakukan pengujian, besar kecilnya titik lekukan digunakan untuk menghitung nilai kekerasan Vickers. Metode ini digunakan di industri dan laboratorium untuk mengevaluasi kekerasan berbagai bahan dengan akurasi dan konsistensi yang tinggi.
- c. Uji Identasi Kerucut (Rockwell), merupakan suatu metode pengujian kekerasan material dengan cara menekan permukaan material menggunakan jig atau jig berbentuk lingkaran. Pengujian ini memungkinkan kekerasan suatu bahan ditentukan berdasarkan kedalaman penetrasi pewarna setelah menerapkan beban standar. Metode ini digunakan karena cepat dan mudah dalam penerapannya serta memberikan hasil yang dapat terbaca secara akurat pada skala kekerasan Rockwell.

Indentor intan berbentuk limas persegi digunakan dalam pengujian untuk mengetahui kekerasan lekukan menggunakan Vickers Hardness Tester. Di bawah beban tertentu, indentor ini digunakan untuk membuat lekukan pada material. Sisi berlawanan piramida membentuk sudut 136° derajat. Keakuratan dua hingga empat mikrometer dapat diperoleh dengan durasi pelacakan lima belas detik. Panjang horizontal diagonal, atau d_1 , diukur, sementara yang diukur secara vertikal disebut d_2 . Rata-rata dari kedua Panjang diagonal tersebut dihitung untuk mendapatkan Panjang lintasan.

Rasio beban yang diterapkan terhadap luas permukaan lekukan yang dihasilkan dikenal sebagai bilangan kekerasan Vickers.. Luas permukaan lekukan ini biasanya diestimasi dari pengukuran mikroskopis Panjang diagonal lintasan. Karena deformasi logam berhubungan langsung dengan laju deformasi yang konstan ketika

dikenai beban, nilai kekerasan kekerasan sering kali berhubungna erat dengan kekuatan luluh atau kekuatan tarik dari logam tersebut. Saat menjalankan uji kekerasan pada material, operator biasanya memilih beban indenter yang sesuai dari pilihan standar seperti 50, 100, 200, 300, 400, tau 500, tergantung pada jenis material yang diuji. Pemilihan beban yang tidak tepat dapat mengakibatkan penafsiran yang kurang tepat terhadap sifat-sifat material sampel tersebut.



Gambar 2. 14 Metode Pengujian Kekerasan Vickers

(Sumber : Vickers harness test gordoneglan.co.uk)

2.7 Tembaga Murni

Tembaga logam transisi golongan IB (Cu) mempunyai berat atom 63,55 g/mol dan nomor atom 29. Tembaga berwarna kemerahan bila dalam keadaan logam, namun sering ditemukan pada senyawa lain yang mengandung ion lain, misalnya sulfat, yang mengubah warna logam dari tembaga murni. Salah satu senyawa tembaga yang khas adalah tembaga sulfat pentahidrat ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$). Zat ini banyak digunakan di sektor tekstil untuk pemrosesan dalam, pembilasan, pelapisan, penyepuhan, dan pewarnaan. (SAPUTRI, 2013)

Tembaga adalah unsur logam yang memiliki struktur kristal dan warna kemerahan. Nama kimianya adalah tembaga dan lambangnya adalah Cu.

Dengan berat atom 63.546 tembaga terletak pada posisi nomor atom 29 dalam tabel periodik unsur kimia. Meskipun dapat terbentuk secara alami sebagai logam murni, tembaga paling sering ditemukan dalam bentuk mineral atau kompleks padat kompleks. (Septia et al., 2020)

2.8 Sifat Mekanik

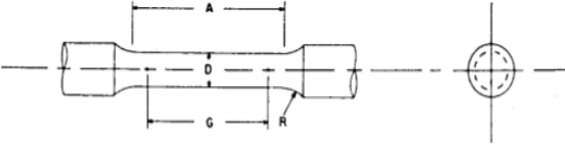
1. Kekuatan tarik adalah salah satu sifat mekanik terpenting dalam pengelasan gesekan. Kuat tarik yang tinggi berarti sambungan yang dihasilkan mampu menahan beban tarik yang besar tanpa retak atau putus.
2. Uji kekerasan adalah sifat mekanik penting lainnya dalam pengelasan gesekan. Kekerasan yang tinggi menunjukkan bahwa sambungan yang dihasilkan tahan terhadap gesekan dan tekanan.
3. Struktur mikro merupakan sifat mekanik yang berkaitan dengan sifat bahan yang digunakan dalam pengelasan gesekan. Struktur mikro yang baik akan meningkatkan kekuatan tarik dan kekerasan hasil pengelasan gesek.
4. Kecepatan rotasi adalah proses pengelasan gesekan dapat memberikan pengaruh yang signifikan terhadap sifat mekanik pengelasan. Semakin tinggi kecepatan putaran maka semakin tinggi nilai kekuatan tarik dan kekerasannya
5. Waktu gesek pada durasi gesekan juga dapat mempengaruhi sifat mekanik

2.9 Standar ASTM

ASTM International merupakan sebuah organisasi sukarela yang berbasis internasional yang bertanggung jawab untuk mengembangkan standar teknis yang berkaitan dengan bahan, produk, system, dan layanan. Kantor pusat ASTM International terletak di Amerika Serikat.

American Society for Testing and Materials (ASTM) didirikan pada tahun 1898 oleh sekelompok ilmuwan dan insinyur untuk mengatasi masalah bahan baku besi yang digunakan pada rel kereta api. Saat ini,

ASTM telah menciptakan lebih dari 12.000 standar. Baik di negara maju maupun negara terbelakang, standar ASTM banyak digunakan dalam penelitian akademis dan ilmiah.



Dimensions, mm [in.]					
For Test Specimens with Gauge Length Four times the Diameter [E8]					
Standard Specimen	Small-Size Specimens Proportional to Standard				
	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4	Specimen 5
G—Gage length	50.0 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]	36.0 ± 0.1 [1.400 ± 0.005]	24.0 ± 0.1 [1.000 ± 0.005]	16.0 ± 0.1 [0.640 ± 0.005]	10.0 ± 0.1 [0.450 ± 0.005]
D—Diameter (Note 1)	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	9.0 ± 0.1 [0.350 ± 0.007]	6.0 ± 0.1 [0.250 ± 0.005]	4.0 ± 0.1 [0.160 ± 0.003]	2.5 ± 0.1 [0.113 ± 0.002]
R—Radius of fillet, min	10 [0.375]	8 [0.25]	6 [0.188]	4 [0.156]	2 [0.094]
A—Length of reduced section, min (Note 2)	56 [2.25]	45 [1.75]	30 [1.25]	20 [0.75]	16 [0.625]

Dimensions, mm [in.]					
For Test Specimens with Gauge Length Five times the Diameter [E8M]					
Standard Specimen	Small-Size Specimens Proportional to Standard				
	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4	Specimen 5
G—Gage length	62.5 ± 0.1 [2.500 ± 0.005]	45.0 ± 0.1 [1.750 ± 0.005]	30.0 ± 0.1 [1.250 ± 0.005]	20.0 ± 0.1 [0.800 ± 0.005]	12.5 ± 0.1 [0.565 ± 0.005]
D—Diameter (Note 1)	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	9.0 ± 0.1 [0.350 ± 0.007]	6.0 ± 0.1 [0.250 ± 0.005]	4.0 ± 0.1 [0.160 ± 0.003]	2.5 ± 0.1 [0.113 ± 0.002]
R—Radius of fillet, min	10 [0.375]	8 [0.25]	6 [0.188]	4 [0.156]	2 [0.094]
A—Length of reduced section, min (Note 2)	75 [3.0]	54 [2.0]	36 [1.4]	24 [1.0]	20 [0.75]

Gambar 2. 15 Spesimen Uji Tarik Standar ASTM

(Sumber : <http://bloguji.google.com>)

2.10 Karakteristik Mekanik.

Rotary Friction Welding (RFW) adalah salah satu metode pengelasan yang menggunakan gesekan untuk menghasilkan panas dan menyatukan dua bahan tanpa mencairkan logam dasar. Proses ini banyak digunakan karena menghasilkan sambungan yang kuat dan berkualitas tinggi dengan berbagai keuntungan mekanik. Berikut adalah beberapa karakteristik mekanik pada pengelasan rotary friction welding:

1. Kekuatan Tarik (Tensile Strength): Sambungan yang dihasilkan oleh RFW biasanya memiliki kekuatan tarik yang mendekati atau bahkan melebihi kekuatan tarik bahan dasar. Ini karena pengelasan gesekan menghasilkan sambungan yang homogen dengan sedikit atau tanpa porositas.

2. Kekuatan Geser (Shear Strength): Sambungan RFW menunjukkan kekuatan geser yang tinggi, karena mekanisme pengelasan gesekan memungkinkan terjadinya interlocking mekanik pada tingkat mikrostruktur
3. Kekerasan (Hardness): Daerah pengaruh panas (Heat-Affected Zone/HAZ) pada RFW biasanya mengalami peningkatan kekerasan. Ini terjadi karena proses deformasi plastis dan pendinginan cepat yang menyebabkan perubahan mikrostruktur, seperti pembentukan martensit pada baja.
4. Kelelahan (Fatigue): Sambungan RFW umumnya memiliki ketahanan terhadap kelelahan yang baik. Proses pengelasan yang menghasilkan sambungan tanpa retak atau inklusi meningkatkan performa kelelahan, terutama dalam aplikasi dinamis.
5. Distorsi dan Tegangan Sisa (Distortion and Residual Stress): • Pengelasan gesekan menghasilkan distorsi yang minimal dibandingkan dengan metode pengelasan konvensional lainnya. Tegangan sisa yang dihasilkan juga lebih rendah, mengurangi risiko deformasi dan kegagalan sambungan.
6. Homogenitas Mikrostruktur : Sambungan RFW cenderung memiliki mikrostruktur yang lebih homogen dibandingkan dengan metode pengelasan lainnya, karena proses pengelasan gesekan mencampur logam secara efektif di daerah sambungan.
7. Ketangguhan (Toughness): Sambungan yang dihasilkan biasanya memiliki ketangguhan yang tinggi karena homogenitas dan kualitas sambungan yang baik. Ini membuat sambungan mampu menahan beban dinamis dan kejut.
8. Kapasitas Penyerapan Energi (Energy Absorption Capacity): Sambungan yang dihasilkan biasanya memiliki ketangguhan yang tinggi karena homogenitas dan kualitas sambungan yang baik. Ini membuat sambungan mampu menahan beban dinamis dan kejut.

2.11 aluminium 6061 dan Paduannya

Paduan aluminium dalam seri 6061 mengandung silikon dan magnesium sekitar dalam proporsi yang diperlukan untuk pembentukan magnesium silisida (Mg_2Si), sehingga membuat paduan ini memiliki mampu perlakuan panas yang baik. Meskipun tidak sekuat pada paduan 2xxx dan 7xxx, paduan aluminium seri 6xxx memiliki sifat mampu bentuk yang baik, mampu las, mampu mesin, dan ketahanan korosi yang relatif baik dengan kekuatan sedang.

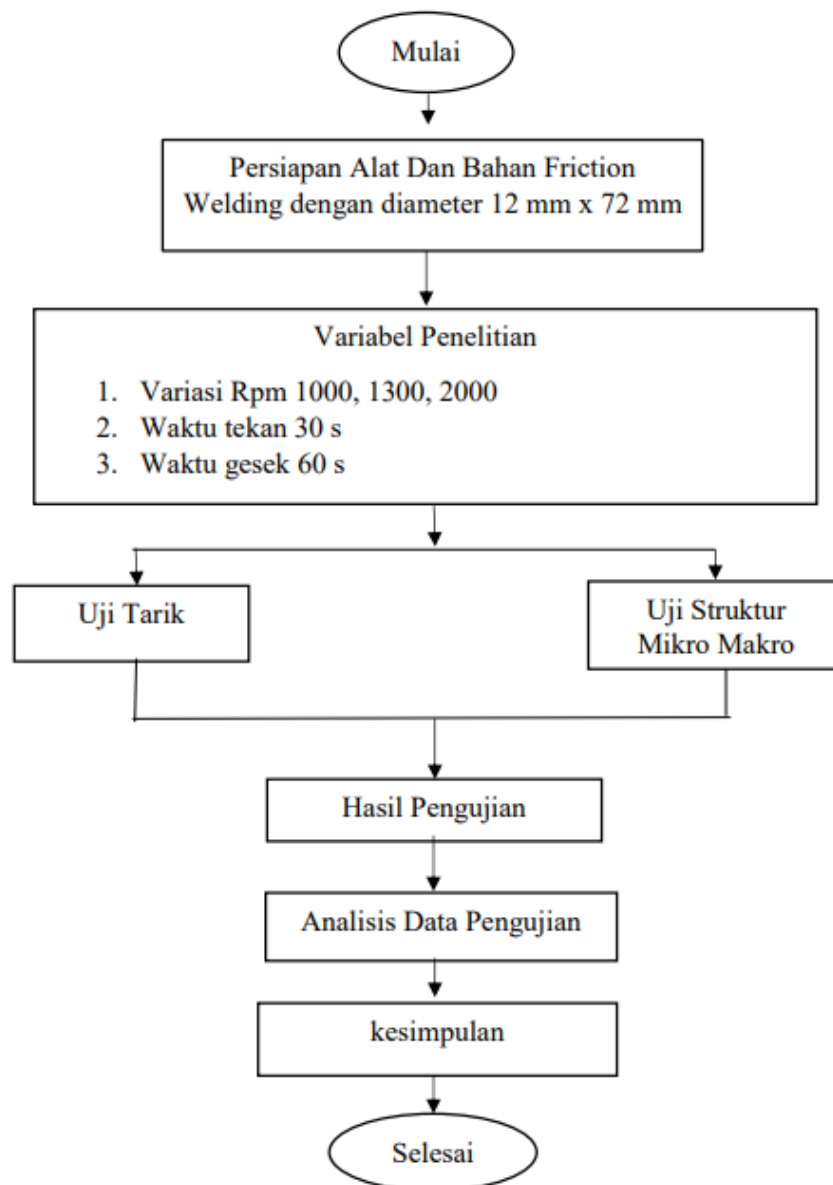
Untuk paduan aluminium seri 6xxx yang memiliki unsur paduan utama Al-Mg-Si, dalam sistem klasifikasi AA dapat diperoleh paduan Al 6061. Paduan dalam sistem ini mempunyai kekuatan kurang sebagai bahan tempaan dibandingkan dengan paduan-paduan lainnya, tetapi sangat liat, sangat baik mampu bentuknya untuk penempaan, ekstrusi dan sebagainya. Paduan 6063 dipergunakan 9 untuk rangka-rangka konstruksi, maka selain dipergunakan untuk rangka konstruksi.

Sedangkan paduan aluminium seri 6061 adalah salah satu jenis material yang banyak penerapannya pada industri maju karena memiliki keunggulan dari berbagai sisi yaitu seperti kemampuan permesinan yang baik, penyelesaian permukaan sempurna, kekuatan yang tinggi dan ringan, serta tahan terhadap korosi.

BAB 3. METODOLOGI

3.1 Alur Penelitian

Dibawah ini adalah gambaran aliran yang digunakan selama proses penelitian yang sedang dilakukan.





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Alat dan Material

3.2.1 Alat Penelitian

Dalam proses penelitian ini, diperlukan peralatan dan bahan material yang digunakan untuk mendukung pembuatan. Di table 3.1 terdapat daftar peralatan yang digunakan dalam pembuatan bahan penelitian.

Tabel 3.1 peralatan untuk penelitian.

No	Alat	Fungsi	Gambar
1	Mesin Gergaji Potong	untuk melakukan pemotongan Pemotongan bahan Alumunium dan tembaga.	
2	<i>Thermometer</i> Inframerah	untuk mengukur suhu atau Temperature sambungan Pada saat prose pengelasan Gesek pada benda kerja.	
3	Mesin Bubut	digunakan sebagai alat untuk Pengelasan gesekan dan Pembuatan spesimen	
4	<i>Micro Vickers Machine</i>	untuk mengevaluasi spesimen Kekeraan pada tembaga Dan alumunium di area las	
6	Tabung gas elpiji 3 kg	untuk pemanasan awal material yang akan dilas.	



- 7 Tabung oksigen gas LPG dan oksigen
Digabungkan untuk menghasilkan nyala api bersuhu tinggi.
- 8 Boraks digunakan sebagai alat untuk melakukan pembuatan spesimen dan melakukan pengelasan *friction welding*.
- 9 *Mesin Uji Tarik* untuk menguji specimen tarik Pada alumunium dan tembaga



3.2.2 Bahan Penelitian

Pada Tabel 3.2 terdapat bahan-bahan yang dibutuhkan dalam proses penelitian

Tabel 3.2 Bahan-bahan yang dibutuhkan dalam proses penelitian

No	Bahan	Fungsi	Gambar
1	Tembaga Murni	material utama dari penelitian ini dengan ukuran panjang 72 mm dan berdiameter 12 mm.	
2	Alumunium 6061	material utama dari penelitian ini dengan ukuran panjang 72 mm dan berdiameter 12 mm.	

3.3 Tempat dan Waktu Penelitian

3.3.1 Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan di :

- a. Laboratorium Pemesinan di Fakultas Teknologi Industri dan Informatika Jurusan Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Prof. Dr Hamka Jakarta untuk pembuatan spesimen dan pengelasan.
- b. Pengujian Tarik dan Struktur kekerasan/Vickers dilakukan di Laboratorium Universitas Indonesia Depok, Jawa Barat.

3.3.2 Waktu Penelitian

Tabel 3.1 Waktu Penelitian

No	Uraian Kegiatan	Waktu Pelaksanaan (Bulan)
1.	Persiapan dan perencanaan penelitian	1 bulan
2.	Pengumpulan bahan baku (aluminium dan tembaga)	1 bulan
3.	Pengaturan dan pengujian mesin friction welding	2 bulan
4.	Variasi RPM dan pengukuran tekanan	3 bulan
5.	Analisis Sifat Mekanik (variasi RPM, waktu gesekan, Vickers)	2 bulan
6.	Penyusunan laporan akhir	1 bulan

3.4 Teknik Pengumpulan Data

Setelah temuan pengujian diproses, data mentah dikenai satu langkah pemrosesan data lagi yang menghasilkan data baru yang disajikan dan menawarkan informasi. Dalam penelitian eksperimen, metode pengolahan data meliputi :

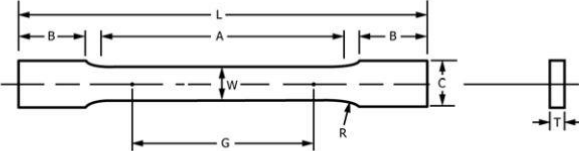
1. Bentuk Grafik
2. Gambar hasil pengujian

3.5 Spesimen Pengujian Tarik

Bahan material yang akan disambung dengan las gesek adalah aluminium 6061 dan tembaga murni. Langkah-langkah pembuatan material specimen uji tarik dan uji mikro adalah sebagai berikut

1. Mempersiapkan peralatan dan bahan material pengelasan gesek.

2. Memotong alumunium 6061 dan tembaga Murni dengan Panjang 72 mm sebanyak 6 bahan. Dengan diameter specimen 12 mm
3. Membubut diameter depan diperkecil ukuran diameter 96 mm dan Panjang 72 mm.



	Dimensions		
	Standard Specimens		Subsize Specimen
	Plate-Type, 40 mm [1.500 in.] Wide	Sheet-Type, 12.5 mm [0.500 in.] Wide	6 mm [0.250 in.] Wide
	mm [in.]	mm [in.]	mm [in.]
G—Gauge length (Note 1 and Note 2)	200.0 ± 0.2 [8.00 ± 0.01]	50.0 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]	25.0 ± 0.1 [1.000 ± 0.003]
W—Width (Note 3 and Note 4)	40.0 ± 2.0 [1.500 ± 0.125, -0.250]	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	6.0 ± 0.1 [0.250 ± 0.005]
T—Thickness (Note 5)		thickness of material	
R—Radius of fillet, min (Note 6)	25 [1]	12.5 [0.500]	6 [0.250]
L—Overall length, min (Note 2, Note 7, and Note 8)	450 [18]	200 [8]	100 [4]
A—Length of reduced parallel section, min	225 [9]	57 [2.25]	32 [1.25]
B—Length of grip section, min (Note 9)	75 [3]	50 [2]	30 [1.25]
C—Width of grip section, approximate (Note 4 and Note 9)	50 [2]	20 [0.750]	10 [0.375]

Gambar 3. 1 Gambar ASTM E8

3.6 Metode Penelitian Eksperimental

1. Persiapan specimen
 - a. potong material bahan alumunium 6061 dan tembaga murni dengan ukuran diameter 12 mm dan Panjang 72 mm sebanyak 6 specimen
 - b. perkecil diameter tampak depan 96 mm
2. Proses Pengelasan pengelasan gesek
 - a. Parameter tetap :
 1. Tekanan : 20 Kg/cm²
 2. Waktu Gesek : 1 menit
 3. Waktu Tekan : 30 detik
 - b. Variasi RPM
 1. 1000 RPM
 2. 1300 RPM
 3. 2000 RPM

- c. Pasang spesimen aluminium dan tembaga pada mesin bubut
- d. Melakukan pengelasan gesek dengan mengatur kecepatan putar sesuai variasi RPM yang ditentukan.
- e. Setelah proses pengelasan gesek selesai, biarkan specimen mendingin.

3. Hasil Pengujian Pengelasan Gesek :

a. Uji Tarik

1. Pemasangan specimen pada mesin uji tarik, kalibrasi mesin
2. Proses pengujian, dengan mengaplikasikan gaya tarik secara bertahap pada specimen, monitoring parameter gaya tarik, perpanjangan, tegangan dan regangan
3. Pengumpulan data uji tarik maksimum, tegangan maksimum dan perpajangan total sebelum specimen putus
4. Analisis data untuk menentukan kualitas sambungan las.
5. Laporan pengujian mencakup semua detail specimen, metode pengujian, data yang diperoleh dan, hasil analisis

b. Uji Vickers

1. Pemasangan spesimen pada mesin uji kekerasan Vickers, fokuskan lensa optic untuk mendapatkan gambar yang jelas pada area spesimen
2. Pelaksanaan pengujian terapkan beban tertentu
3. Pengukuran indentasi, gunakan mikroskop yang terintegrasi dengan mesin uji untuk mengamati dan mengukur kedua diagonal dari indentasi yang terbentuk.
4. Perhitungan kekerasan Vickers (HV), menggunakan software dari mesin uji yang otomatis mengonversi pengukuran diagonal menjadi HV.
5. Pengumpulan data.
6. Analisis hasil

3.7 Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data pada studi ini melibatkan variasi RPM pada 1000, 1300, dan 2000. Suhu selama proses pengelasan dicatat, diikuti oleh waktu gesek selama 1 menit dan selama waktu gesek masing-masing variasi putaran di torch minimal 300°C , waktu tekanan selama 30 detik, dan tekanan sebesar 20 Kgcm^2 . setelah pengelasan friction welding berhasil, langkah selanjutnya adalah pengujian tarik dan uji kekerasan Vickers.



Gambar 3. 2 Gambar Hasil Proses Friction Welding

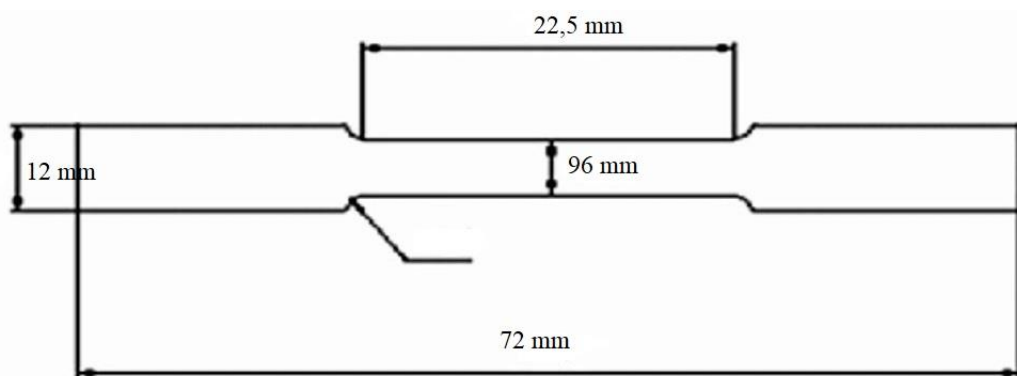
BAB 4 . HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengolahan Data

Data hasil pengujian Tarik dan pengujian kekerasan vickers dilakukan di Laboratorium Pemesinan dan Metalurgi Universitas Indonesia Jl. Lingkar, Pondok Cina, Kecamatan Beji, Kota Depok, Jawa Barat 16424. Dimana hasil dari pengujian akan menjadi acuan dalam penulisan skripsi.

4.2 Pembahasan dan Analisa Hasil Pengujian Tarik

Data hasil pengelasan *friction welding* dengan bahan material Alumunium (Al) dan tembaga (Cu) dengan diameter 12 mm pada alumunium 6061 dan tembaga Murni dan ukuran diameter tampak depan di perkecil 96 mm dengan Panjang 21-22,5 mm, waktu tekan 30 detik, lalu specimen alumunium diberi tekanan 20 kg/cm^2 dan waktu gesek selama 1 menit dan masing – masing specimen diberi variasi RPM 1000, 1300, dan 2000. Grafik hasil pengujian tarik dengan 3 specimen dapat disajikan di bawah ini.



Gambar 4. 1 Gambar ASTM E8

4.3 Grafik Suhu Spesimen Suhu Uji Tarik

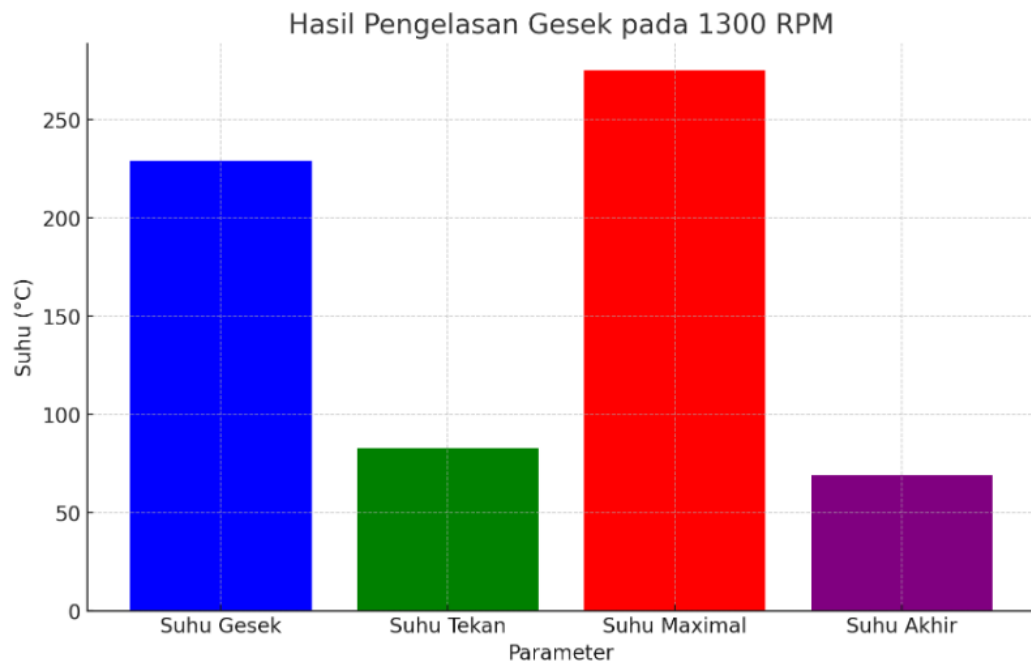
4.3.1 Grafik Spesimen Suhu Variasi 1000 RPM



Gambar 4. 2 Gambar Grafik Suhu Variasi 1000 RPM

Proses pengelasan gesek dengan variasi kecepatan 1000 RPM selama 60 detik menghasilkan temperature gesekan yang relative tinggi (308°C), mendekati suhu maksimum (317°C). Hal ini menunjukkan bahwa gesekan merupakan factor utama timbulnya panas. Suhu tekanan yang lebih rendah (109°C) dan suhu akhir (81°C) menunjukkan pendinginan yang signifikan setelah mencapai suhu puncak. Flukstuasi suhu ini memberikan informasi tentang bagaimana energi panas didistribusikan dan dihamburkan selama dan setelah proses pengelasan. Hal ini penting untuk menjamin kualitas pengelasan dan menghindari kerusakan akibat panas pada material.

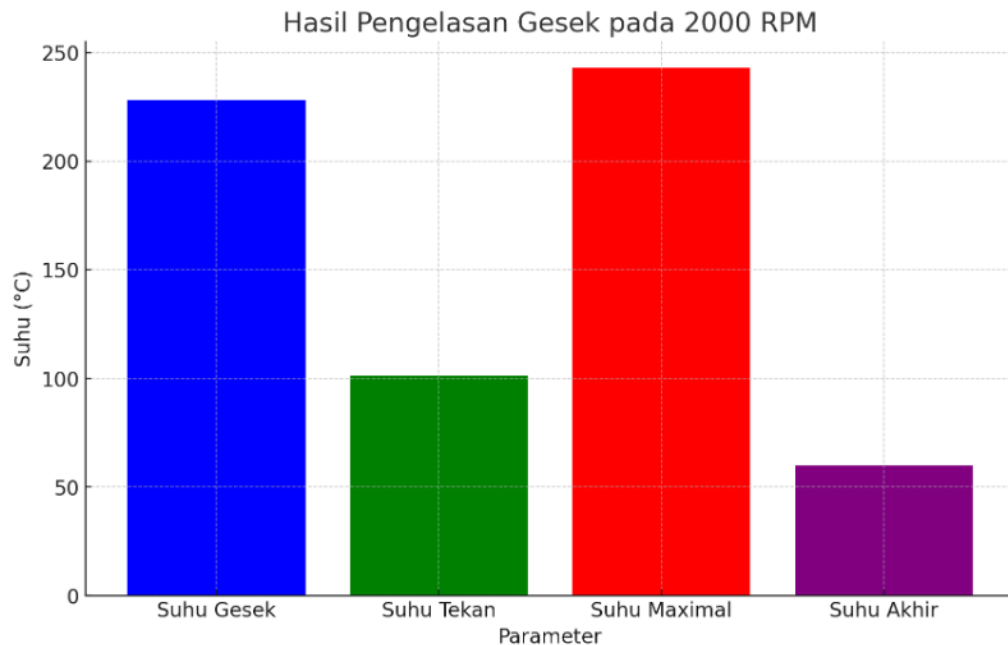
4.3.2 Grafik Spesimen Suhu Variasi 1300 RPM



Gambar 4. 3 Gambar Grafik Suhu Variasi 1300 RPM

Pada proses pengelasan gesek dengan variasi putaran 1300 RPM selama 60 detik menghasilkan temperature gesekan yang lebih rendah (229°C) dibandingkan versi 1000 RPM karena adanya proses pengelasan. Hal ini menunjukkan bahwa energi panas yang dihasilkan sedikit berkurang seiring dengan meningkatnya kecepatan putaran. Suhu tekanan yang lebih rendah (83°C) dan suhu akhir (69°C) menunjukkan bahwa pendinginan dengan kecepatan tinggi lebih efisien. Temperature maksimum yang lebih rendah (275°C) dibandingkan versi 1000 RPM menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan dapat menurunkan intensitas panas yang dihasilkan. Fluktuasi suhu keseluruhan ini menunjukkan bahwa perpindahan dan pembuangan panas keseluruhan ini menunjukkan bahwa perpindahan dan pembuangan panas lebih efisien pada kecepatan putaran yang lebih tinggi, yang dapat mengontrol kualitas pengelasan dan mengurangi resiko kerusakan termal dan material.

4.3.3 Grafik Spesimen Suhu Variasi 2000 RPM



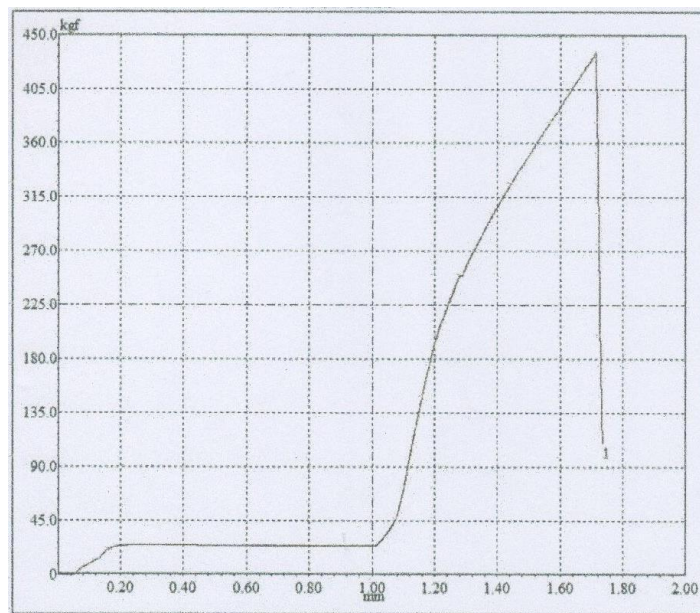
Gambar 4. 4 Gambar Grafik Suhu Variasi 2000 RPM

Pada proses pengelasan gesek dengan variasi putaran 2000 RPM selama 60 detik menghasilkan (228°C) hampir sama dengan varian 1300 rpm, hal ini menunjukkan bahwa suhu gesekan tidak meningkat secara signifikan pada kecepatan yang lebih tinggi. Temperature tekan (101°C) sedikit lebih tinggi dibandingkan versi 1300 RPM, namun tetap lebih rendah dibandingkan versi 1000 RPM, yang menunjukkan pendinginan yang efektif. Suhu maksimum yang lebih rendah (243°C) menunjukkan bahwa kecepatan rotasi yang lebih tinggi menghasilkan puncak panas yang lebih rendah dan distribusi panas yang lebih efisien. Nilai suhu akhir yang paling rendah (60°C) menunjukkan bahwa material menjadi sangat cepat dingin setelah proses pengelasan selesai. Fluktuasi suhu yang khas ini menunjukkan bahwa kecepatan putaran yang lebih tinggi (2000 RPM) perpindahan dan pembuangan panas sangat efisien, yang mengontrol kualitas pengelasan dan mengurangi kerusakan termal pada material. Membantu mengurangi resiko. Kecepatan yang lebih tinggi,

tampaknya mengoptimalkan proses pendinginan dan menjaga suhu maksimum tetap rendah.

4.4 Hasil Spesimen Pengujian Tarik

4.4.1 Hasil Grafik Pengujian Tarik Spesimen 1000 RPM



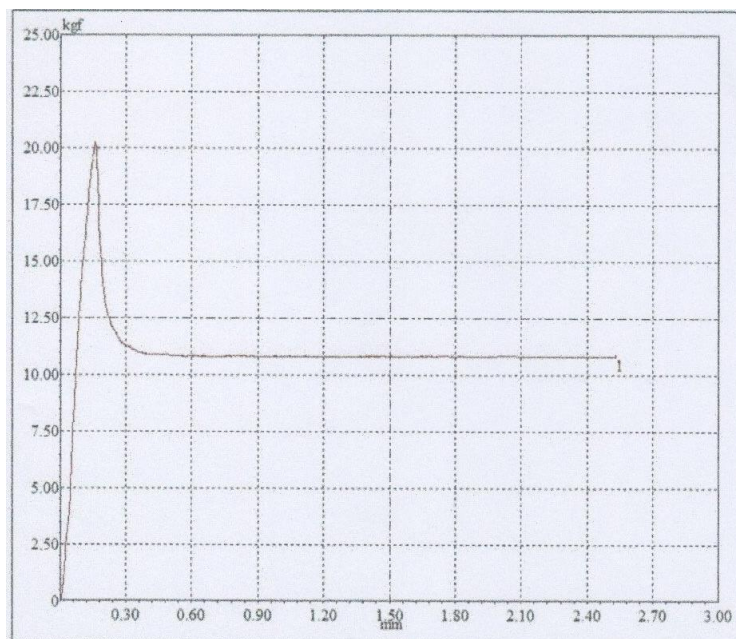
Gambar 4. 5 Grafik hasil uji tarik variasi 1000 rpm

Pada Gambar 4.1, specimen ini mampu menahan beban maksimum sebesar 436,50 kgf sebelum mengalami keruntuhan dan memiliki kekuatan tarik yang signifikan. Titik leleh material adalah 334,4 kgf, yang merupakan batas tegangan dimana material mulai berubah bentuk secara plastis. Diameter sampel 9,45 mm dan luas penampang 70 mm^2 , menjadikan material cukup besar untuk pengujian tarik. Material tersebut memiliki UTS sebesar 61,0 MPa, yang menunjukkan beban maksimum yang dapat ditahannya sebelum terjadi kegagalan. elongasi tumbuh sebesar 4 %. Hal ini menunjukkan bahwa material tersebut mempunyai kapasitas deformasi yang cukup sebelum pecah.



Gambar 4. 6 Gambar patahan uji tarik variasi 1000 RPM

4.2.2 Hasil Grafik Pengujian Tarik Spesimen 1300 RPM



Gambar 4. 7 Grafik hasil uji tarik variasi 1300 rpm

Pada gambar 4.2, Specimen ini mampu menahan beban maksimum 20,30 kgf sebelum pecah. Hal ini menunjukkan bahwa kekuatan tariknya sangat rendah. Titik leleh material adalah 13,5 kgf, yang menunjukkan bahwa batas tegangan dimana material mulai berubah bentuk secara plastis juga rendah. Diameter sampel 9,13

mm dan luas penampang $65,47 \text{ mm}^2$ membuat material adalah 3,0 MPa, yang menunjukkan beban maksimum yang dapat ditahannya sebelum pecah. Hal ini menunjukkan bahwa material ini sangat lemah dibandingkan dengan sample 1000 RPM. Specimen ini mengalami elongasi sebesar 6 %. Hal ini menunjukan bahwa material ini mengalami perpanjangan deformabilitas yang lebih baik dibandingkan dengan sampel pada putaran 1000 RPM.



Gambar 4. 8 Gambar patahan uji tarik variasi 1300 RPM

4.2.3 Hasil Grafik Pengujian Tarik Spesimen 2000 RPM



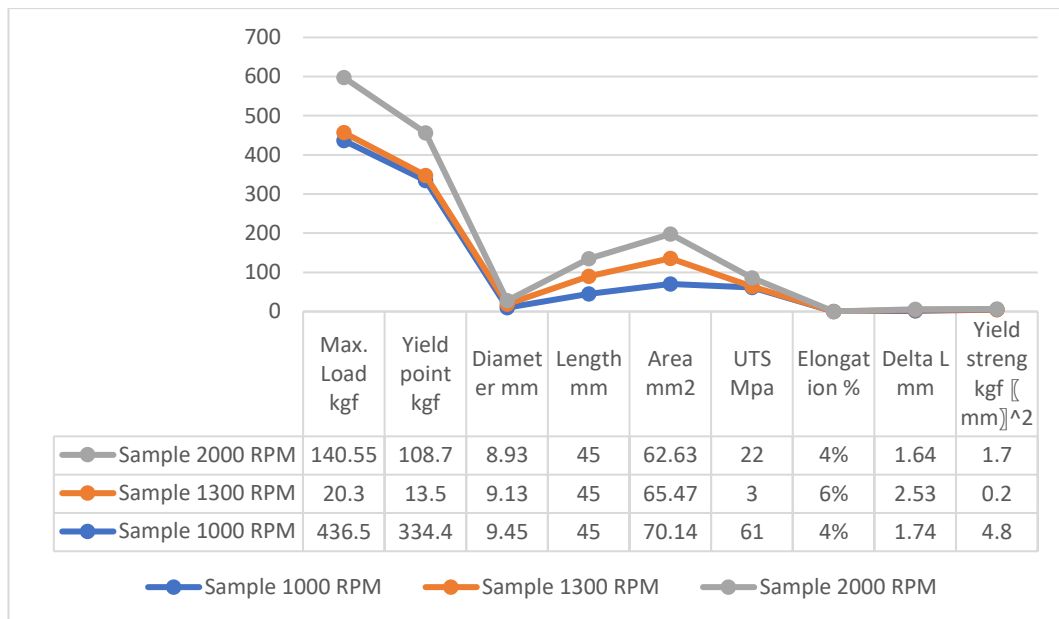
Gambar 4. 9 Grafik hasil uji tarik variasi 2000 rpm

Pada gambar 4.3, specimen ini mampu menahan beban maksimum 140,55 kgf sebelum patah dan memiliki kekuatan tarik sedang. Titik leleh material adalah 108,7 kgf, yang merupakan batas tegangan dimana material mulai berubah bentuk secara plastis. Diameter sampel 8,93 mm dan luas penampang $62,63 \text{ mm}^2$ membuat material cukup besar untuk pengujian tarik. Nilai UTS material adalah 22,0 MPa yang menunjukkan beban maksimum yang ditahannya sebelum putus, yang merupakan nilai sedang. Elongasinya tumbuh sebesar 4%. Hal ini menunjukkan deformabilitas sedang serupa dengan sampel pada 1000 RPM.



Gambar 4. 10 Gambar patahan uji tarik variasi 2000 RPM

4.2.4 Hasil Grafik Keseluruhan Spesimen Uji Tarik



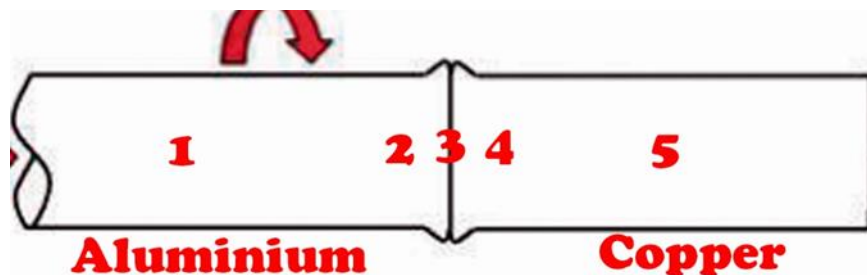
Gambar 4. 11 Grafik keseluruhan spesimen uji tarik

Pada gambar 4.4, pada specimen 1000 RPM menunjukkan kekuatan mekanis terbaik dengan nilai Max Load, Yield Point, dan Ultimate Tensile Strength (UTS) yang tertinggi, tetapi dengan elongasi yang moderat. Pada specimen 1300 RPM menunjukkan kemampuan deformasi yang lebih besar sebelum patah. Pada specimen 2000 RPM memperlihatkan kekuatan mekanis yang moderat dengan nilai Max Load, Yield Point, dan UTS yang berada di antara dua specimen lainnya, serta elongasi yang sama dengan sampel pada 1000 RPM. Ini menunjukkan bahwa kecepatan RPM berpengaruh secara signifikan terhadap sifat mekanis material, dimana peningkatan RPM dari 1000 RPM ke 1300 RPM menyebabkan penurunan kekuatan mekanis yang drastis, namun peningkatan lebih lanjut ke 2000 RPM memperlihatkan sedikit peningkatan kembali dalam kekuatan mekanis.

4.3 Data Hasil Pengujian Vickers

4.3.1 Hasil Uji Kekerasan Vickers

Pengujian kekerasan Vickers dilakukan pada berbagai sampel dengan RPM yang berbeda. Hasilnya menunjukkan adanya kekerasan berdasarkan RPM yang digunakan.



Gambar 4. 12 Gambar lokasi pengambilan titik kekerasan Vickers

1. 1000 RPM :
 - a. Kekerasan rata-rata : 649.2 HV
 - b. Rentang kekerasan : 545 – 827 HV
 - c. Kekerasan tertinggi : 8827 HV pada sampel ketiga
2. 1300 RPM :
 - a. Kekerasan rata-rata : 745.2 HV
 - b. Rentang kekerasan : 545 – 1135 HV
 - c. Kekerasan tertinggi : 1135 HV pada sampel ketiga
3. 2000 RPM
 - a. Kekerasan rata-rata : 707.2 HV
 - b. Rentang kekerasan : 545 – 1103 HV
 - c. Kekerasan tertinggi : 1103 HV pada sampel ketiga

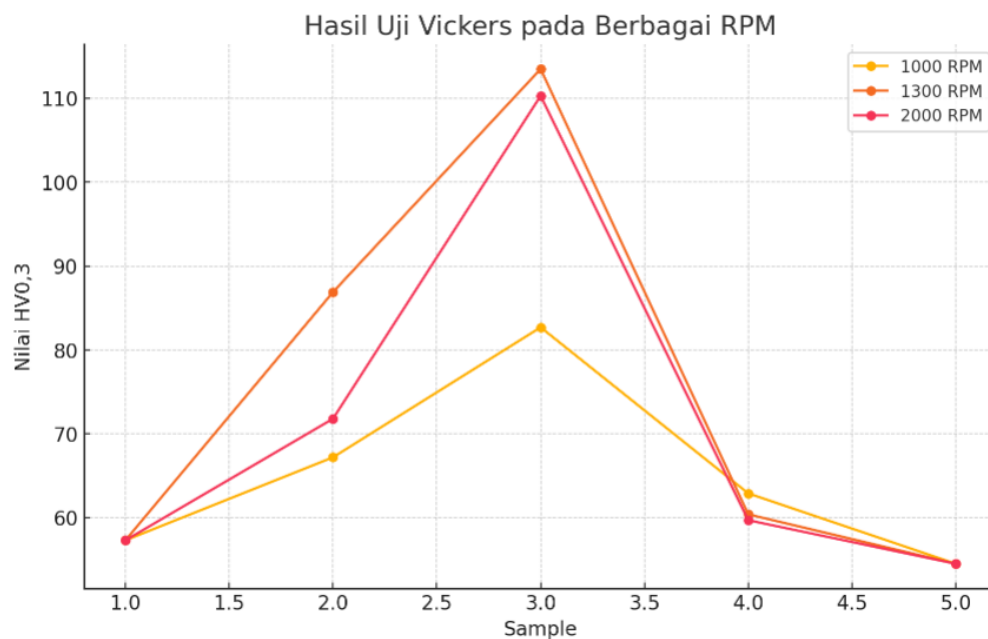
Dari hasil diatas, dapat disimpulkan bahwa :

1. Kekerasan rata-rata meningkatkan dari RPM 1000 ke RPM 1300, namun sedikit menurun pada RPM 2000.

2. RPM 1300 menunjukkan peningkatan kekerasan yang signifikan, kemungkinan karena input panas dan gesekan yang lebih tinggi menghasilkan struktur butir yang lebih halus.
3. Kekerasan tertinggi dan rentang kekerasan juga tertinggi pada RPM 1300

4.3.2 Analisis Kekerasan Vickers

Analisis ini menunjukkan bahwa peningkatan RPM umumnya meningkatkan kekerasan karena input panas dan gesekan yang lebih tinggi menghasilkan struktur butir yang lebih halus. Namun, pada RPM yang terlalu tinggi seperti 2000, efek termal yang berlebihan mungkin menyebabkan pelunakan di beberapa daerah sehingga menurunkan kekerasan rata-rata.



Gambar 4. 13 Grafik hasil uji Vickers

Secara umum nilai kekerasan cenderung meningkat seiring bertambahnya kecepatan terutama pada sampel kedua dan ketiga. Apalagi pada putaran tinggi (1300 RPM dan 2000 RPM) hasilnya jauh berbeda. Hal ini mungkin menunjukkan

bahwa factor lain selain kecepatan, seperti kondisi material dan metode pengujian, juga mempengaruhi hasil pengujian kekerasan. specimen pertama dan kelima cenderung menunjukkan nilai kekerasan yang lebih konsisten pada RPM yang berbeda, sedangkan sampel ketiga selalu menunjukkan nilai kekerasan tertinggi pada setiap RPM.

BAB 5. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan mengenai pengaruh variasi RPM terhadap sifat mekanik pada pengelasan Friction welding antara aluminium dan tembaga, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Kekerasan Vickers : Hasil pengujian kekerasan Vickers menunjukkan bahwa peningkatan RPM umumnya meningkatkan kekerasan material. Namun, pada RPM yang terlalu tinggi, seperti 2000 RPM, efek termal yang berlebihan dapat menyebabkan pelunakan di beberapa daerah sehingga menurunkan kekerasan rata-rata.
2. Pengujian Tarik : Secara keseluruhan, spesimen menunjukkan performa terbaik dalam hal kekuatan Tarik dan kekuatan luluh pada spesimen 1000 RPM, menjadikannya material terkuat dan tertangguh, Sampel pada putaran 1300 RPM menunjukkan penurunan kuat Tarik yang signifikan, meskipun elongasinya baik, sampel 2000 RPM menunjukkan kinerja sedang dengan kekuatan Tarik dengan luluh yang lebih baik dibandingkan spesimen 1300 rpm, namun tidak sekuat specimen 1000 RPM

5.2 Saran

1. Optimasi RPM : Berdasarkan hasil data pengujian, putaran 1000 RPM memberikan hasil terbaik dalam hal kekuatan Tarik, sedangkan putaran 1300 RPM menunjukkan penurunan kekuatan yang nyata. Cara terbaik adalah menggunakan kecepatan antara 1000 dan 2000 RPM untuk menemukan keseimbangan antara kekuatan Tarik dan deformabilitas.
2. Pengujian Lanjutan : Disarankan melakukan pengujian lanjutan variasi dengan parameter yang lebih kecil untuk menemukan titik optimal dari kekuatan Tarik dan deformabilitas.

3. Variasi Material : Penelitian lebih dapat mencakup variasi bahan material lainnya untuk memahami bagaimana kombinasi material bereaksi terhadap variasi RPM dalam Proses pengelasan gesek
4. Teknik Pengelasan: Ekspolrasi Teknik pengelasan lain atau modifikasi Teknik yang ada mungkin dapat meningkatkan kualitas pada sambungan pengelasan gesek dan efisiensi proses.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifin, S. (1997). *Las Listrik dan Logam*. Jakarta Indonesia: Ghalia.
- Chapke, Y., Kamble, D., & Shaikh, S. Md. S. (2020). Friction welding of Aluminium Alloy 6063 with copper. *E3S Web of Conferences*, 170, 02004. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017002004>
- Edward, Z., & Putera, W. H. A. (2013). Pengaruh Bentuk Probe Pada Tool Shoulder Terhadap Metalurgi Aluminium Seri 5083 Dengan Proses Friction Stir Welding. *Jurnal Teknik ITS*, 2(1), G112–G115.
- Erfiansyah, W. (2023). *PENGARUH VARIASI RPM PADA PENGELASAN FRICTION WELDING BAJA S45C TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN BENTUK PATAHAN*. 11.
- Griffing, B. (1972). *THEORETICAL AND EXPERIMENTAL ASPECTS OF SELECTION AS APPLIED TO BIOLOGICAL GROUPS. Final Report, February 1, 1968—January 31, 1972*. Ohio State Univ. Research Foundation, Columbus.
- Imawan, B. (2015). *Pengaruh sudut chamfer dan kekasaran permukaan terhadap kekuatan tarik sambungan las gesek Al-Mg-Si*. Universitas Brawijaya.
- Prabowo, A. (2016). *PENGARUH WAKTU PENGELASAN TERHADAP KUALITAS SAMBUNGAN LAS MAGNESIUM AZ31 DAN ALUMINIUM AL 13 DENGAN METODE PENGELASAN GESEK*.
- PUTRA, G. A. (2016). *PEMBUATAN MESIN FRICTION WELDING DENGAN SISTEM HIDROLIK KAPASITAS GAYA 2 TON MENGGUNAKAN*

MESIN BUBUT [PhD Thesis, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta].

<https://etd.umy.ac.id/id/eprint/20364/>

Saefuloh, I.-, Setiawan, I., Sunardi, S., Lusiani, R., & Suryana, S. (2023).

Karakteristik Sifat Mekanik Hasil Pengelasan Gesek Aluminium dengan

Tembaga Menggunakan Variasi Kecepatan Putar dan Kekasaran

Permukaan Kontak. *Malikussaleh Journal of Mechanical Science and*

Technology, 6(3), 28. <https://doi.org/10.29103/mjmst.v6i3.10301>

SAPUTRI, D. H. (2013). *ANATOMI AKAR KECUBUNG (Datura metel L.)*

SETELAH TERPAPAR LOGAM BERAT TEMBAGA. Universitas Gadjah

Mada.

Septia, W., Mafakhir, M. Z., Rieziq, N. M., Adila, S. N., Putri, T. A., &

Sasongko, W. (2020). Potensi Sumber Daya Mineral Logam Dan Non

Logam Di Provinsi Sumatera Bara. *Jurnal Georafflesia: Artikel Ilmiah*

Pendidikan Geografi, 5(1), 87–95.

Suriadi, I. K., & Suarsana, I. K. (2007). Prediksi laju korosi dengan perubahan

besar derajat deformasi plastis dan media pengkorosi pada material baja

Karbon. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin CAKRAM*, 1(1), 1–8.

Taban, E., Gould, J. E., & Lippold, J. C. (2010). Dissimilar friction welding of

6061-T6 aluminum and AISI 1018 steel: Properties and microstructural

characterization. *Materials & Design (1980-2015)*, 31(5), 2305–2311.

Wirjosumarto, H., & Okumura, T. (1981). *Teknologi Pengelasan Logam Pradnya*

Paramita. Jakarta.

Wiryosumarto, H., & Okumura, T. (2000a). Metal welding techniques. *Erlangga, Jakarta.*

Wiryosumarto, H., & Okumura, T. (2000b). Teknologi pengelasan logam, PT. *Pradnya Paramita, Jakarta.*

LAMPIRAN

Lampiran a



Lampiran b




Lampiran c




Lampiran d



Lampiran e












UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH PROF. DR. HAMKA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN INFORMATIKA
Jl. Husein Sastranegara No. 4, Pajadiren, Lingsar, Depok, Jawa Barat 16152-000000, Telp. (021) 47181718
Email: library@umh.ac.id



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH PROF. DR. HAMKA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN INFORMATIKA
Jl. Husein Sastranegara No. 4, Pajadiren, Lingsar, Depok, Jawa Barat 16152-000000, Telp. (021) 47181718
Email: library@umh.ac.id


LEMBAR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : Nadindra Ardiansyah
NIM : 2002025062
Program Studi : Teknik Mesin
Judul : Dampak
Pembimbing : Riyon Ariyansyah, S.T., M.T

No.	Tanggal	Keterangan	Paraf
1	7/5/2024	bimbingan bab I	
2	10/6/2024	bimbingan bab II	
3	1/7/2024	bimbingan bab III	
4	2/7/2024	bimbingan bab III	
5	4/7/2024	bimbingan bab V	
6	9/7/2024	Revisi bab III	
7	6/7/2024	Penambahan Revisi bab II	
8	7/7/2024	Revisi bab III	
9	10/7/2024	Revisi bab V	


No.	Tanggal	Keterangan	Paraf

Mengetahui,
Dosen Pembimbing



Riyon Ariyansyah
NIM. 0194063102

Mengetahui,
Mahasiswa



Nadindra Ardiansyah
NIM. 2002025062

Lampiran f

Nadindra Ardiansyah - PENGARUH PERBEDAAN REVOLUTION PER MINUTE (RPM) TERHADAP KARAKTERISTIK MEKANIK PADA PENGELASAN GESEK ANTARA ALUMINIUM DAN TEMBAGA

ORIGINALITY REPORT

20	12	2	15
<small>SIMILARITY INDEX</small>	<small>INTERNET SOURCES</small>	<small>PUBLICATIONS</small>	<small>STUDENT PAPERS</small>

PRIMARY SOURCES

1	Submitted to Academic Library Consortium <small>Student Paper</small>	13%
2	eprints.itn.ac.id <small>Internet Source</small>	1%
3	docplayer.info <small>Internet Source</small>	1%
4	123dok.com <small>Internet Source</small>	1%
5	repository.umy.ac.id <small>Internet Source</small>	1%
6	Submitted to Universitas Pamulang <small>Student Paper</small>	<1%
7	dspace.uui.ac.id <small>Internet Source</small>	<1%
8	www.google.com <small>Internet Source</small>	<1%