

**ANALISIS PERUBAHAN SIFAT MEKANIK AKIBAT
TEKANAN PADA PENGELASAN FRICTION ROTARY BEDA
MATERIAL JENIS ALUMINIUM DENGAN TEMBAGA**

SKRIPSI



Disusun oleh:

Kurniawan Eko Prasetyo

1903035078

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

**ANALISIS PERUBAHAN SIFAT MEKANIK AKIBAT TEKANAN
PADA PENGELASAN FRICTION ROTARY BEDA MATERIAL JENIS
ALUMINIUM DENGAN TEMBAGA**

SKRIPSI

Disusun untuk Memenuhi Persyaratan Kelulusan Sarjana Teknik Mesin



Oleh:

Kurniawan Eko Prasetyo

1903035078

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

HALAMAN PERSETUJUAN

ANALISIS PERUBAHAN SIFAT MEKANIK AKIBAT TEKANAN
PADA PENGELASAN FRICTION ROTARY BEDA MATERIAL JENIS
ALUMINIUM DENGAN TEMBAGA

SKRIPSI

Dibuat untuk Memenuhi Persyaratan Kelulusan Sarjana Teknik

Oleh:

Kurniawan Eko Prasetyo
1903035078

Telah diperiksa dan disetujui untuk diajukan ke Sidang Ujian Skripsi
Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Dan Informatika

Tanggal, 11 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

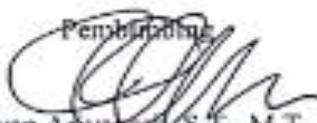
HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS PERUBAHAN SIFAT MEKANIK AKIBAT TEKANAN PADA PENGELASAN FRICTION ROTARY BEDA MATERIAL JENIS ALUMINIUM DENGAN TEMBAGA

SKRIPSI

Oleh:
Kurniawan Eko Prasetyo
1903035078

Telah diuji dan dinyatakan lulus dalam Sidang Ujian Skripsi
Program Studi Teknik Informatika Fakultas Teknik UHAMKA
Tanggal, 24 Juli 2024

Pembimbing

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

Penguji-1

Agus Fikri, S.T., M.M., M.T.
NIDN 0319087101

Penguji-2

Drs. Moh. Yusuf Djeli, M.M., M.T.
NIDN 0330016001

Mengesahkan,
Dekan
Fakultas Teknologi Industri dan
Informatika UHAMKA

Dyah Dwi Mugisidi, S.T., M.Si.
NIDN. C301126901

Mengetahui,
Ketua Program Studi
Teknik Mesin

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

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya, yang membuat pernyataan

Nama : Kurniawan Eko Prasetyo
NIM : 1903035078
Judul skripsi : Analisis Perubahan Sifat Mekanik Akibat Tekanan Pada Pengelasan Friction Rotary Beda Material Jenis Aluminium Dengan Tembaga

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,



Kurniawan Prasetyo

KATA PENGANTAR

Assalamu 'alaikum wa rohmatullahi wa barokaatuh.

Bismillahirrahmanirrohim Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat- Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar sarjana Teknik Progam Studi Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Industri dan Informasi Universitas Muhammadiyah Prof Dr. Hamka Jakarta. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada

1. Bpk. Riyan Ariyansyah, S.T., M.T Kaprodi Jurusan Teknik Mesin dan sekaligus pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.
2. Bpk Delvis Agusman, ST., M.Sc. Selaku dosen pembimbing Akademik yang telah mengarahkan saya sampai pada masa studi.
3. Ke dua orang tua yang dimana telah mendukung saya dari segi material, pikiran, arahan dan motivasi.
4. Angkatan 2019 Teknik Mesin yang mendukung memberikan saling motivasi dan saling menguatkan satu sama lain.

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 : Kurniawan Eko Prasetyo
NIM : 1903035078
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:

ANALISIS PERUBAHAN SIFAT MEKANIK AKIBAT TEKANAN PADA
PENGELASAN FRICTION ROTARY BEDA MATERIAL JENIS
ALUMINIUM DENGAN TEMBAGA

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, 8 Juli 2024



Kurniawan Eko Prasetyo

ABSTRAK

ANALISIS PERUBAHAN SIFAT MEKANIK AKIBAT TEKANAN PADA PENGELASAN FRICTION ROTARY BEDA MATERIAL JENIS ALUMINIUM DENGAN TEMBAGA

Kurniawan Eko Prasetyo

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi tekanan terhadap sifat mekanik pada pengelasan friction welding antara aluminium dan tembaga. Teknik friction welding dipilih karena kemampuannya untuk menggabungkan dua material berbeda tanpa menyebabkan keretakan panas dan porositas yang biasanya muncul pada teknik pengelasan konvensional. Proses friction welding dilakukan dalam kondisi material yang berada dalam keadaan lumer tanpa mencapai titik cair. Variabel tekanan yang diuji adalah 20 kg/cm^2 , 30 kg/cm^2 , dan 40 kg/cm^2 dengan waktu gesek selama 45 detik, waktu tekan selama 30 detik, dan kecepatan putar mesin bubut sebesar 1300 rpm. Pengelasan dilakukan menggunakan mesin bubut yang dilengkapi dengan mekanisme pembebanan hidrolik. Hasil pengujian ini mendapatkan hasil uji tarik sebesar 39.1 kgf pada spesimen satu dengan variasi tekanan 20 kg/cm^2 dan hasil uji kekerasan 59,7 HV pada specimen satu dengan variasi tekan 20 kg/cm^2 . Hasil ini menunjukkan bahwa variasi tekanan memiliki pengaruh signifikan terhadap sifat mekanik sambungan las pada material aluminium dan tembaga.

Kata kunci: friction welding, aluminium, tembaga, tekanan, sifat mekanik

ANALYSIS OF CHANGES IN MECHANICAL PROPERTIES DUE TO PRESSURE IN ROTARY FRICTION WELDING DIFFERENT TYPES OF ALUMINUM AND COPPER MATERIALS

Kurniawan Eko Prasetyo

This research aims to determine the effect of pressure variations on the mechanical properties of friction welding between aluminum and copper. The friction welding technique was chosen because of its ability to combine two different materials without causing hot cracks and porosity that usually appear in conventional welding techniques. The friction welding process is carried out in conditions where the material is in a melted state without reaching the melting point. The pressure variables tested were 20 kg/cm^2 , 30 kg/cm^2 , and 40 kg/cm^2 with a friction time of 45 seconds, a press time of 30 seconds, and a lathe rotation speed of 1300 rpm. Welding is carried out using a lathe equipped with a hydraulic loading mechanism. The results of this test obtained tensile test results of 39.1 kgf on specimen one with a pressure variation of 20 kg/cm^2 and hardness test results of 59.7 HV on specimen one with a pressure variation of 20 kg/cm^2 . These results indicate that pressure variations have a significant influence on the mechanical properties of welded joints in aluminum and copper materials.

Key words: friction welding, aluminum, copper, pressure, mechanical properties

DAFTAR ISI

SKRIPSI.....	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	vi
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR NOTASI.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB.1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	2
BAB.2 KAJIAN PUSTAKA	4
2.1 Aluminium	4
2.1.1 Karakteristik Aluminium	4
2.1.2 Penggunaan Aluminium.....	5
2.1.3 Pengelasan Aluminium	5
2.1.4 Paduan Aluminium	6

2.2 Tembaga.....	6
2.2.1 Pengenalan Tembaga	6
2.2.2 Karakteristik Tembaga.....	7
2.2.3 Klasifikasi Tembaga	7
2.2.4 Penggunaan Tembaga	9
2.2.5 Pengelasan Tembaga.....	9
2.3 Pengelasan.....	10
2.3.1 Klasifikasi Pengelasan	10
2.3.4 Pengelasan Bertekanan	12
2.3.2 Pengujian Pada Pengelasan	16
2.3.2.1 Uji Kekerasan Vickers	16
2.3.2.2 Uji Tarik.....	18
2.5 Standar Pengujian Tarik.....	21
1. Tujuan dan Ruang Lingkup:	21
2. Jenis Spesimen:	21
3. Persiapan Spesimen:	21
4. Prosedur Pengujian:	22
5. Parameter yang Diukur:	22
6. Pelaporan Hasil:	22
7. Keuntungan Menggunakan ASTM E8/E8M:	23
BAB.3 METODOLOGI PENELITIAN	24
3.1 Diagram Alir	24
3.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	25
3.2.1 Alat Penelitian	25
3.2.2 Bahan Penelitian	25
3.3 Tempat Penelitian	26
3.3.1 Tempat Penelitian	26
3.4 Teknik Pengumpulan Data.....	26
3.4.1 Variabel Penelitian	26
3.4.2 Variabel Bebas (<i>Independent</i>)	26
3.4.4 Variabel Kontrol	27

3.5 Pelaksanaan Penelitian	28
BAB.4 HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1 Hasil Penelitian	31
4.1.1 Hasil Uji Tarik	31
4.1.2 Hasil Uji Kekerasan (Vickers).....	32
4.2 Pembahasan Hasil Pengujian	33
4.2.1 Grafik Hasil Uji Tarik	33
4.2.2 Grafik Hasil Uji Kekerasan (Vickers).....	35
BAB.5 PENUTUP.....	36
5.1 Kesimpulan	36
5.2 Saran.....	36
DAFTAR PUSTAKA	37
LAMPIRAN.....	39

DAFTAR TABEL

Tabel 4-1 Parameter friction welding (uji tarik).....	31
Tabel 4-2 Hasil pengujian tarik	31
Tabel 4-3 Parameter <i>friction welding</i> (uji kekerasan <i>vickers</i>).....	32
Tabel 4-4 Hasil uji kekersan (<i>vickers</i>).....	33

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Alumunium	4
Gambar 2. 2 Tembaga	7
Gambar 2. 3 Klasifikasi Pengalasan	11
Gambar 2. 4 Proses Brazing	12
Gambar 2. 5 Proses Soldering	12
Gambar 2. 6 Proses pengelasan gesek	14
Gambar 2. 7 <i>Direct Drive Welding</i>	15
Gambar 2. 8 Skema setup untuk <i>inersia welding (friction welding)</i>	16
Gambar 2. 9 Daerah las	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 10 Jenis-jenis sambungan dasar	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 11 Metode Pengujian Kekerasan Vickers	18
Gambar 2. 12 Kurva Tegang-Regangan	19
Gambar 2. 13 Sampel Standar Uji Trik E8 ASTM Volume 3	21
Gambar 2. 14 Spesimen uji tarik standar ASTM	23
Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian	24
Gambar 3. 2 Persiapan tabung gas elpiji dan tabung oksigen	28
Gambar 3. 3 Persiapan tembaga yang akan dipanaskan	29
Gambar 3. 4 Proses pemanasan tembaga (Cu)	29
Gambar 3. 5 Mesin bubut	29
Gambar 3. 6 Persiapan benda kerja	30
Gambar 3. 7 Proses pengelasan friction welding	30
Gambar 4. 1 Titik posisi uji kekerasan	32
Gambar 4. 2 Grafik specimen terhadap max load	33
Gambar 4. 3 Grafik Specimen terhadap yield point	34
Gambar 4. 4 Grafik specimen terhadap UTS	34
Gambar 4. 5 Grafik perbandingan specimen terhadap hasil uji kekerasan	35

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)
Tp	Total Pemendekan (mm)
Lo	Panjang benda uji sebelum di las (mm)
L	Panjang benda uji setelah di las (mm)

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A. Foto Patahan Variasi 20 kg/cm ²	39
Lampiran B. Hasil Uji Tarik 20kg/cm ²	39
Lampiran C. Foto Patahan Variasi 30kg/cm ²	39
Lampiran D. Hasil Uji Tarik 30kg/cm ²	40
Lampiran E. Foto Patahan Variasi 40kg/cm ²	40
Lampiran F. Hasil Uji Tarik 40kg/cm ²	40
Lampiran G. Hasil Turnitin.....	41
Lampiran H. Lembar Bimbingan Skripsi.....	412
Lampiran I. Lembaran Revisi Penguji 1.....	413
Lampiran I. Lembaran Revisi Penguji 2.....	413

BAB.1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada sektor manufaktur, pengelasan berfungsi sebagai proses penting dimana digunakan untuk menggabungkan dua material atau lebih menjadi satu unit yang kuat dan fungsional. Seiring dengan kemajuan teknologi, berbagai metode pengelasan telah dikembangkan untuk meningkatkan kualitas dan efisiensi sambungan. Salah satu metode yang semakin populer adalah pengelasan gesek (*friction welding*) (Waluyo & Waas, 2022). Pengelasan gesek dikenal mampu menghasilkan sambungan kuat tanpa perlu bahan pengisi memiliki keunggulan dalam hal kecepatan dan efisiensi energi (Kurniati et al., 2015).

Pengelasan gesek melibatkan menggabungkan dua bahan material yang berbeda maupun sama dengan memanfaatkan panas temperatur yang diperoleh dari pergerakan antara permukaan material yang satu dengan yang lain. Proses ini membuat material berada dalam kondisi plastis, memungkinkan difusi atom antar material yang berbeda. Tekanan yang diterapkan selama pengelasan sangat penting untuk menentukan kualitas sambungan, karena tekanan ini mempengaruhi tingkat plastisitas material dan kedalaman penetrasi sambungan (Husodo et al., 2013). Oleh karena itu, pemahaman mendalam tentang pengaruh tekanan terhadap hasil pengelasan sangat diperlukan (Seraceddin Levend Zorluoğlu, 2012).

Friction Rotary Welding adalah mekanisme pengelasan dimana menggunakan temperature panas dari hasil gesekan antara dua material yang berbeda yaitu permukaan material. Dalam hal ini, kita fokus pada pengelasan antara aluminium dan tembaga, dua logam dengan sifat dan aplikasi berbeda yang sering digunakan bersama untuk memanfaatkan keunggulan masing-masing (Dwi Saputra Renovian, 2020). Perbedaan metalurgi pada pengelasan material yang berbeda jenis menimbulkan tantangan tersendiri dan memerlukan perhatian khusus. Aluminium (Al) mempunyai sifat lunak dan daya tarik yang baik, sedangkan paduan tembaga (Cu) tidak bisa diberikan perlakuan panas. Perbedaan ini mempengaruhi zona terpengaruh panas (HAZ) dan zona terpengaruh thermomekanis (TMAZ) serta logam yang sedang prose las. Oleh karena itu, dalam

pengelasan dengan proses FSW, perhatian khusus harus diberikan pada geometri alat, kecepatan gerak alat (mm/mnt), kecepatan putaran alat (rpm), dan sudut kemiringan alat (Alapján, 2016).

Dalam dunia pengelasan, pemilihan teknik las disesuaikan dengan kebutuhan spesifik, mengingat setiap metode memiliki karakteristik uniknya. Pengelasan logam tak sejenis (dissimilar welding) merupakan inovasi terkini yang muncul dari tuntutan untuk menggabungkan material berbeda. Teknik ini telah menjadi krusial dalam industri mesin, elektronik, dan kimia. Penggabungan dua bahan berbeda ini menghasilkan material dengan sifat baru yang bermanfaat, seperti pada kasus pengikat kabel yang menggabungkan tembaga dan aluminium. Salah satu contoh aplikasinya adalah kabel schoen atau cable lug, sebuah konektor berbentuk tabung yang menjembatani kabel aluminium dengan komponen tembaga. (Mitsak et al., 2007).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan latar belakang diatas, dapat dibuat pertanyaan penelitian dari masalah sebagai berikut:

1. Apakah tekanan berpengaruh terhadap kekuatan tarik yang terbentuk
2. Apakah tekana berpengaruh terhadap kekerasan pada daerah sabungan las

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini akan membatasi permasalahan pada pengaruh variasi tekanan terhadap sifat mekanik seperti kekerasan dan kekuatan tarik pada pengelasan gesek antara aluminium dan tembaga.

1.4 Tujuan Penelitian

- Mengidentifikasi hubungan antara tekanan yang diterapkan selama proses welding dengan kekuatan tarik yang dihasilkan oleh material.
- Menentukan nilai tekanan optimal yang menghasilkan kekuatan tarik tertinggi pada material yang diuji.

1.5 Manfaat Penelitian

- Meningkatkan kualitas sambungan pengelasan friction welding dengan memahami bagaimana variasi tekanan mempengaruhi kekuatan tarik dan bentuk patahan material.

- Mengoptimalkan proses pengelasan gesek untuk menghasilkan sambungan yang lebih kuat dan tahan lama.
- Menyediakan panduan bagi peneliti untuk memperdalam pengetahuan dan ketekunan dalam penelitian.

BAB.2 KAJIAN PUSTAKA

2.1 Aluminium

Aluminium adalah elemen kimia dengan simbol Al dan nomor atom 13. Elemen ini adalah logam yang paling melimpah di kerak bumi, membentuk sekitar 8% dari berat permukaan padat bumi. Aluminium dikenal karena ringan, tahan korosi, dan memiliki kekuatan yang baik, membuatnya menjadi bahan yang sangat penting dalam berbagai aplikasi industri.



Gambar 2. 1 Alumunium

2.1.1 Karakteristik Aluminium

Aluminium memiliki berbagai sifat yang menjadikannya bahan yang sangat serbaguna, antara lain:

1. **Ringan:** Aluminium memiliki densitas sekitar 2.7 g/cm^3 , sekitar sepertiga dari densitas baja, sehingga sangat ideal untuk aplikasi yang memerlukan berat rendah tetapi kekuatan tinggi.
2. **Tahan Korosi:** Aluminium memiliki lapisan oksida alami yang melindunginya dari korosi. Lapisan ini bisa diperkuat dengan proses anodisasi.
3. **Konduktivitas Listrik dan Termal:** Aluminium adalah konduktor listrik dan termal yang sangat baik, menjadikannya pilihan utama untuk aplikasi kelistrikan dan termal.

4. **Kekuatan dan Kelembutan:** Aluminium memiliki kombinasi kekuatan yang baik dan kelenturan, yang memungkinkannya untuk dibentuk menjadi berbagai bentuk tanpa retak.
5. **Dapat Didaur Ulang:** Aluminium dapat didaur ulang tanpa kehilangan sifat-sifatnya, membuatnya sangat ramah lingkungan.

2.1.2 Penggunaan Aluminium

Aluminium digunakan dalam berbagai industri dan aplikasi, termasuk:

1. **Industri Penerbangan dan Otomotif:** Karena ringan dan kekuatan yang baik, aluminium sering digunakan dalam pembuatan pesawat terbang, mobil, dan komponen transportasi lainnya.
2. **Konstruksi:** Aluminium digunakan dalam jendela, pintu, fasad bangunan, dan struktur lainnya karena tahan terhadap korosi dan mudah dibentuk.
3. **Kemasan:** Aluminium digunakan dalam kemasan makanan dan minuman, seperti kaleng dan foil, karena tidak beracun dan tahan korosi.
4. **Elektronik:** Aluminium digunakan dalam komponen elektronik dan kabel karena konduktivitas listrik yang baik.
5. **Barang Konsumen:** Aluminium sering digunakan dalam peralatan rumah tangga, alat masak, dan produk konsumen lainnya karena ringan dan tahan lama.

2.1.3 Pengelasan Aluminium

Pengelasan aluminium memiliki tantangan tersendiri karena sifat-sifat khusus dari logam ini, seperti:

1. **Lapisan Oksida:** Aluminium memiliki lapisan oksida yang sangat stabil dan titik leleh yang jauh lebih tinggi dari logam dasarnya. Lapisan ini harus dihilangkan sebelum pengelasan.
2. **Konduktivitas Termal Tinggi:** Aluminium memiliki konduktivitas termal yang tinggi, sehingga panas dengan cepat menyebar dari area pengelasan, yang dapat membuat pengelasan menjadi sulit.
3. **Ekspansi Termal:** Aluminium memiliki koefisien ekspansi termal yang tinggi, yang dapat menyebabkan distorsi selama proses pengelasan.

4. **Cairan Cairan:** Aluminium yang cair memiliki viskositas yang rendah, yang dapat menyebabkan masalah seperti aliran logam cair yang tidak terkontrol.

Untuk mengatasi tantangan-tantangan ini, metode pengelasan khusus seperti pengelasan TIG (Tungsten Inert Gas) dan MIG (Metal Inert Gas) sering digunakan untuk pengelasan aluminium. Metode-metode ini memberikan kontrol yang lebih baik terhadap panas dan melindungi aluminium dari kontaminasi atmosfer.

2.1.4 Paduan Aluminium

Paduan aluminium adalah aluminium yang dicampur dengan elemen lain untuk meningkatkan sifat-sifatnya. Beberapa paduan aluminium yang umum digunakan meliputi:

1. **Paduan Seri 1000:** Hampir murni aluminium (99% atau lebih), dengan konduktivitas termal dan listrik yang sangat baik.
2. **Paduan Seri 2000:** Dikenal sebagai paduan tembaga-aluminium, memiliki kekuatan tinggi dan digunakan dalam industri penerbangan.
3. **Paduan Seri 3000:** Mengandung mangan, memiliki ketahanan korosi yang baik, sering digunakan dalam aplikasi kemasan dan konstruksi.
4. **Paduan Seri 5000:** Mengandung magnesium, memiliki kekuatan tinggi dan tahan korosi, sering digunakan dalam industri kelautan.
5. **Paduan Seri 6000:** Mengandung magnesium dan silikon, memiliki kombinasi kekuatan yang baik dan kemudahan pemrosesan, sering digunakan dalam konstruksi dan aplikasi industri.
6. **Paduan Seri 7000:** Mengandung seng, memiliki kekuatan yang sangat tinggi, digunakan dalam aplikasi yang memerlukan kekuatan maksimum, seperti dalam industri kedirgantaraan.

2.2 Tembaga

2.2.1 Pengenalan Tembaga

Tembaga adalah elemen kimia dengan simbol Cu dan nomor atom 29. Logam ini memiliki sejarah penggunaan yang panjang dan luas, terutama karena sifat

konduktivitas listrik dan termalnya yang luar biasa. Tembaga juga memiliki peran penting dalam berbagai industri, mulai dari konstruksi hingga elektronik.



Gambar 2. 2 Tembaga

2.2.2 Karakteristik Tembaga

Tembaga memiliki sejumlah sifat yang menjadikannya sangat berguna, di antaranya:

1. **Konduktivitas Listrik dan Termal Tinggi:** Tembaga adalah salah satu konduktor listrik terbaik, kedua setelah perak. Sifat ini membuatnya ideal untuk kabel listrik dan komponen elektronik.
2. **Tahan Korosi:** Tembaga memiliki ketahanan yang baik terhadap korosi, terutama di lingkungan atmosferik dan air tawar. Hal ini karena pembentukan lapisan pelindung patina pada permukaan tembaga.
3. **Kekuatan dan Duktibilitas:** Tembaga memiliki kombinasi kekuatan yang baik dan kemampuan untuk ditempa atau diregangkan tanpa patah. Ini membuatnya mudah untuk dibentuk menjadi berbagai produk.
4. **Antibakteri:** Tembaga memiliki sifat antibakteri alami, yang membuatnya berguna dalam aplikasi medis dan sanitasi.
5. **Daya Hantar Panas Tinggi:** Kemampuan tembaga untuk menghantarkan panas dengan cepat menjadikannya pilihan utama untuk peralatan masak dan sistem pendingin.

2.2.3 Klasifikasi Tembaga

Berikut adalah klasifikasi tembaga berdasarkan berbagai kriteria:

2.2.3.1. Berdasarkan Kemurnian:

- **Tembaga Murni (Pure Copper):**
 - Tembaga Elektrolitik (Electrolytic Tough Pitch Copper - ETP): Tembaga ini memiliki kemurnian sekitar 99.9% dan digunakan

dalam aplikasi listrik dan elektronik karena konduktivitas listriknya yang sangat tinggi.

- Tembaga Bebas Oksigen (Oxygen-Free Copper - OFC): Tembaga ini memiliki kandungan oksigen yang sangat rendah dan kemurnian yang tinggi, digunakan dalam aplikasi yang memerlukan sifat konduktivitas listrik dan termal yang sangat baik.

2.2.3.2 Berdasarkan Komposisi Paduan:

- **Paduan Tembaga (Copper Alloys):**
 - **Perunggu (Bronze):** Paduan tembaga dan timah dengan tambahan elemen lain seperti fosfor, aluminium, silikon, atau mangan. Perunggu dikenal karena ketahanannya terhadap korosi dan keausan, sering digunakan dalam aplikasi mesin dan peralatan kelautan.
 - **Kuningan (Brass):** Paduan tembaga dan seng dengan variasi komposisi untuk mencapai sifat mekanik dan kimia tertentu. Kuningan digunakan dalam berbagai aplikasi seperti fitting pipa, alat musik, dan dekorasi.
 - **Cupronickel (CuNi):** Paduan tembaga dan nikel yang memiliki ketahanan korosi tinggi di lingkungan laut, sering digunakan dalam aplikasi kelautan dan industri kimia.

2.2.3.3 Berdasarkan Bentuk dan Aplikasi:

- **Tembaga Batangan (Copper Bars):** Digunakan dalam aplikasi kelistrikan dan pembentukan paduan.
- **Tembaga Lembaran (Copper Sheets):** Digunakan dalam industri konstruksi untuk atap, pelapis, dan aplikasi dekoratif.
- **Tembaga Kawat (Copper Wires):** Digunakan dalam kabel listrik, kumparan motor, dan peralatan elektronik.
- **Tembaga Tabung (Copper Tubes):** Digunakan dalam sistem perpipaan, penukar panas, dan aplikasi pendinginan.

2.2.3.4 Berdasarkan Proses Pembuatan:

- **Tembaga Tuang (Cast Copper):** Tembaga yang diproses melalui pengecoran, digunakan untuk membuat komponen mesin dan peralatan.
- **Tembaga Ditempa (Wrought Copper):** Tembaga yang diproses melalui penempaan untuk menghasilkan produk dengan kekuatan dan ketahanan tinggi, digunakan dalam aplikasi industri dan konstruksi.

2.2.4 Penggunaan Tembaga

Tembaga digunakan dalam berbagai industri dan aplikasi, termasuk:

1. **Industri Listrik dan Elektronik:** Tembaga digunakan untuk kabel listrik, motor, generator, transformator, dan komponen elektronik karena konduktivitas listriknya yang tinggi.
2. **Konstruksi:** Tembaga digunakan dalam pipa air, atap, dan bahan bangunan lainnya karena ketahanan korosi dan daya tahannya.
3. **Peralatan Rumah Tangga:** Tembaga sering digunakan dalam peralatan masak dan alat rumah tangga lainnya karena kemampuannya menghantarkan panas dengan baik.
4. **Transportasi:** Tembaga digunakan dalam sistem pendingin mesin, komponen rem, dan berbagai aplikasi otomotif lainnya.
5. **Koin dan Perhiasan:** Tembaga dan paduannya digunakan dalam pembuatan koin, medali, dan perhiasan karena estetika dan daya tahannya.

2.2.5 Pengelasan Tembaga

Pengelasan tembaga memerlukan perhatian khusus karena sifat-sifat khusus dari logam ini:

1. **Konduktivitas Termal Tinggi:** Seperti halnya aluminium, tembaga memiliki konduktivitas termal yang sangat tinggi, yang berarti panas dengan cepat menyebar dari area pengelasan. Hal ini dapat membuat pengelasan menjadi sulit.
2. **Lapisan Oksida:** Tembaga membentuk lapisan oksida yang dapat mengganggu pengelasan jika tidak dihilangkan terlebih dahulu.

3. **Titik Leleh:** Tembaga memiliki titik leleh relatif rendah dibandingkan dengan beberapa logam lainnya, sehingga teknik pengelasan harus disesuaikan untuk mencegah lelehan yang tidak diinginkan.

2.3 Pengelasan

Pengelasan adalah teknik yang digunakan untuk menyatukan dua bagian material logam dengan secara permanen dengan cara pemanasan. Fungsi utamanya adalah menyambungkan komponen-komponen logam yang berbeda atau pun sama. Disamping itu, pengelasan bias gunakan untuk memotong logam karena menggunakan efek dari panas tersebut. Pengelasan dilakukan dengan memanaskan dan meleburkan logam dasar sehingga kedua ujung logam yang akan disambung dipanaskan hingga mencapai titik leleh, membuat sambungan logam yang kuat. Pengelasan yang digunakan dalam proses pembuatan termasuk pengelasan SMAW (Shielded Metal Arc Welding), yang sering disebut sebagai pengelasan listrik, pengelasan oxy-fuel atau karbida, pengelasan MIG (Metal Inert Gas), dan pengelasan TIG (Tungsten Inert Gas) (Kurniawan et al., 2018).

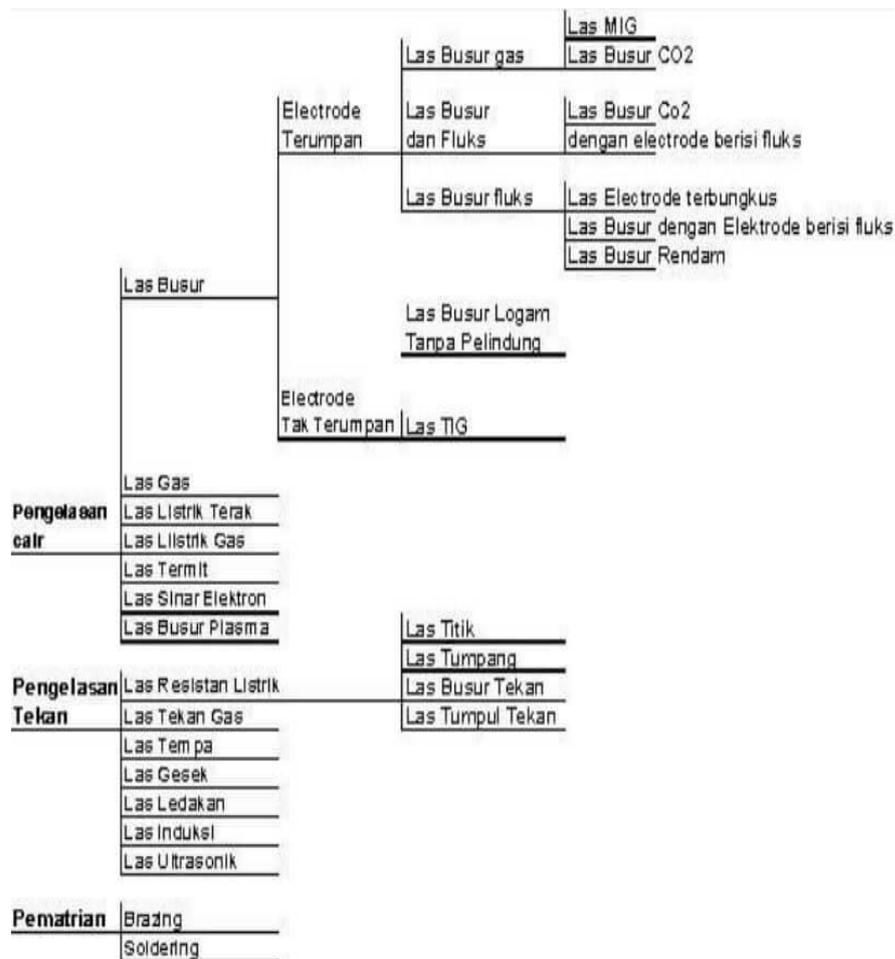
2.3.1 Klasifikasi Pengelasan

Pengelasan adalah proses penggabungan material logam dengan memanfaatkan panas atau tekanan. Klasifikasi pengelasan dibagi berdasarkan berbagai kriteria, seperti metode penghasilan panas, jenis bahan yang dielas, dan posisi pengelasan. Berikut adalah beberapa klasifikasi utama:

2.3.1. Berdasarkan Metode Penghasilan Panas

- **Pengelasan Listrik (Electric Arc Welding):** Menggunakan busur listrik untuk mencairkan ujung elektroda dan bahan yang dielas.
- **Pengelasan Gas (Gas Welding):** Menggunakan gas seperti asetilen atau propana sebagai sumber panas untuk melelehkan bahan yang dielas.
- **Pengelasan Gesek (Friction Welding):** Menggabungkan material dengan memanfaatkan gesekan dan tekanan tanpa cairan logam.
- **Pengelasan Gas Metal Inert (MIG):** Menggunakan gas pelindung seperti argon atau helium dan elektroda yang terus-menerus diberi makan untuk mencairkan logam dasar.

- **Pengelasan Gas Tungsten Inert (TIG):** Menggunakan elektroda tungsten yang tidak mencair dan gas pelindung untuk menghasilkan sambungan berkualitas tinggi.
- **Pengelasan Oxy-Fuel (Oxy-Acetylene):** Menggunakan campuran gas oksigen dan asetilena untuk menghasilkan nyala api yang sangat panas guna mencairkan logam dasar.



Gambar 2. 3 Klasifikasi Pengelasan

2.3.2. Berdasarkan Bahan yang Dilas

- **Pengelasan Logam yang Serupa (Similar Metal Welding):** Menggabungkan logam dengan sifat-sifat kimia dan fisik yang mirip.
- **Pengelasan Logam yang Berbeda (Dissimilar Metal Welding):** Menggabungkan logam dengan sifat-sifat kimia dan fisik yang berbeda.

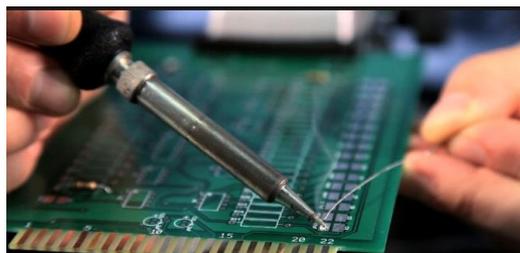
2.3.3. Berdasarkan Posisi Pengelasan

- **Pengelasan *Horizontal (Flat Position)*** : Pengelasan yang dilakukan pada posisi horizontal, di atas meja kerja.
- **Pengelasan *Vertikal (Vertical Position)*** : Pengelasan yang dilakukan pada posisi vertikal, sisi material tegak lurus.
- **Pengelasan *Overhead*** : Pengelasan yang dilakukan pada posisi di atas kepala pengelas.



Gambar 2. 4 Proses *Brazing*

- **Soldering**: Menggunakan logam pengisi dengan titik leleh rendah, seperti timah atau timah-silver, untuk menyambung logam dasar pada suhu di bawah 450°C.



Gambar 2. 5 Proses Soldering

2.3.4 Pengelasan Bertekanan

Metode ini melibatkan pemanasan sambungan kemudian dikompresi hingga menjadi satu. Contoh dari pengelasan bertekanan adalah:

- **Pengelasan Gesek (*Friction Welding*)**: teknik pengelasan yang menghasilkan panas melalui gesekan antara dua permukaan logam.

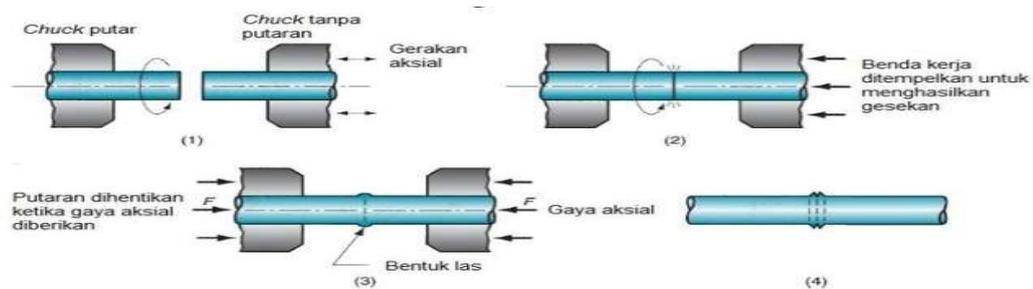
Permukaan logam yang ingin disambungkan diputar dan ditekan satu sama lain, membangkitkan panas yang intens. Panas ini melelehkan material di zona kontak, menyatukan kedua bagian menjadi sambungan yang kuat. (Alapján-, 2016).teknik unik untuk menggabungkan logam tanpa perlu melelehkannya. Proses ini menggabungkan rotasi satu benda kerja dengan tekanan dari benda kerja lain pada tepi benda kerja yang berputar. Pertemuan kedua benda kerja ini menghasilkan gesekan yang intens, menghasilkan panas yang cukup untuk melelehkan ujung-ujungnya dan menyatukannya secara permanen. (Putra et al., 2020) Pengelasan gesek berbeda dengan metode pengelasan tradisional karena tidak menggunakan kawat las atau elektroda. Hal ini menghasilkan sambungan yang homogen antara dua logam yang disatukan, meminimalisir cacat dan meningkatkan kekuatan.

Prinsip Kerja Las Gesek. Pengamatan bahwa energi mekanik dapat diubah menjadi panas melalui gesekan sebenarnya sudah diketahui jauh sebelum tahun 1950. Prinsip ini telah dipahami sejak abad ke-18 dan 19, terutama melalui karya ilmuwan seperti James Prescott Joule(Waluyo & Waas, 2022).

Inovasi ini tidak hanya mengandalkan putaran benda kerja, tetapi juga menerapkan tekanan antar benda kerja untuk meningkatkan panas yang dihasilkan. Tekanan ini pun terbukti mempercepat proses pengelasan. Metode revolusioner ini kemudian dikenal dengan sebutan pengelasan gesek. (Seraceddin Levend Zorluoğlu, 2012).

Pengelasan gesek melibatkan beberapa parameter kunci, termasuk tekanan gesek (P_f), waktu gesek (t_f), tekanan tempa (P_u), waktu tempa (t_u), dan kecepatan (s). Selama proses ini, terjadi deformasi plastis, yang merupakan perubahan bentuk permanen pada logam akibat tekanan penempaan. Bersamaan dengan itu, panas tinggi yang dihasilkan memicu proses difusi. Kombinasi dari deformasi plastis dan difusi ini berperan penting dalam menciptakan sambungan las yang kuat. Deformasi plastis membantu membentuk ikatan mekanis,

sementara difusi menghasilkan ikatan metalurgi di tingkat atom. Pengendalian yang tepat atas parameter-parameter ini sangat penting untuk mengoptimalkan kualitas sambungan las yang dihasilkan. (Sunyoto, 2023).



Gambar 2. 6 Proses pengelasan gesek

Friction welding, atau pengelasan gesek, merupakan teknik inovatif dalam penyambungan logam. Prinsip dasarnya memanfaatkan fenomena alami dimana gesekan menghasilkan panas. Dalam metode ini, dua komponen logam yang akan disambung ditekan satu sama lain sambil digerakkan secara relatif. Akibatnya, terjadi peningkatan suhu yang signifikan pada area kontak kedua logam tersebut. Panas yang dihasilkan dari gesekan ini, dikombinasikan dengan tekanan yang diberikan, menciptakan kondisi optimal untuk terjadinya penyatuan logam. Metode ini menghilangkan kebutuhan akan sumber panas eksternal, menjadikannya pendekatan yang efisien dalam pengelasan logam untuk berbagai keperluan industri. (Mitsak et al., 2007).

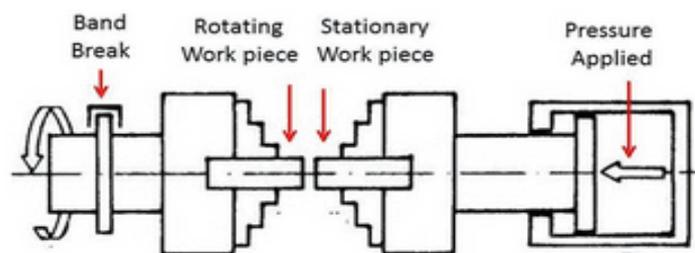
Pengelasan gesek adalah teknik penyambungan logam yang unik, meniadakan kebutuhan akan bahan pengisi, fluks, atau gas pelindung. Proses ini tidak melibatkan peleburan material, melainkan mengandalkan panas yang dihasilkan dari gesekan. Tahapannya meliputi rotasi salah satu benda kerja, penerapan tekanan untuk menghasilkan gesekan dan panas, penghentian rotasi diikuti penerapan gaya aksial, dan akhirnya pembentukan sambungan las. Perlu dicatat bahwa proses ini menyebabkan penyusutan panjang benda kerja. Mesin las gesek dirancang mirip mesin bubut, dilengkapi spindel berkecepatan tinggi dan kemampuan pergerakan

aksial benda kerja. Fitur-fitur ini memungkinkan pengelasan yang efisien dan presisi tanpa memerlukan perlengkapan tambahan seperti pada metode las konvensional. (Syariah & Ilmu, n.d.).

Teknik pengelasan gesekan terdiri dari dua jenis utama: metode penggerak langsung dan metode penggerak inersia. Kedua metode ini menggunakan prinsip gesekan untuk menyambung logam, namun dengan cara yang berbeda dalam menghasilkan dan mengontrol gesekan, memberikan fleksibilitas dalam aplikasi industri.

a. Direct Drive Welding

Dalam metode Direct Drive Welding, salah satu komponen diam sementara yang lain berputar. Proses ini berlangsung sampai area kontak mencapai suhu yang diinginkan. Setelah itu, putaran dihentikan dan tekanan aksial diterapkan untuk menyelesaikan sambungan. Kecepatan rotasi dan besaran gaya tekan merupakan parameter utama yang menentukan kualitas hasil las. Teknik ini memungkinkan kontrol yang akurat atas proses pengelasan, menghasilkan sambungan yang kuat dan konsisten tanpa memerlukan bahan tambahan. (Firmansyah & Sunyoto, 2021).

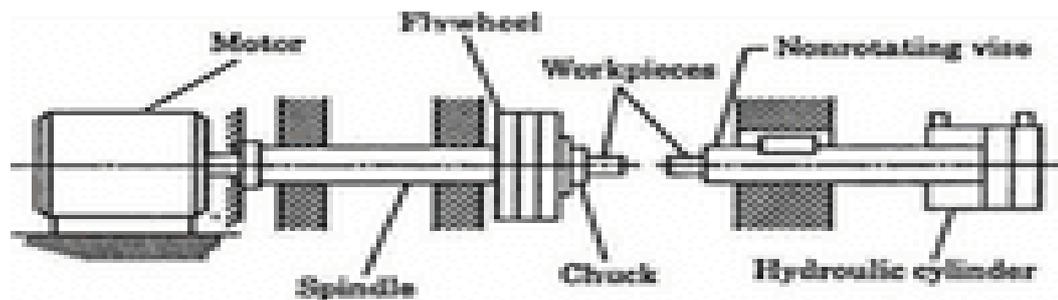


Gambar 2.7 Direct Drive Welding

b. Inertia- Drive Welding

Inertia-drive welding adalah teknik pengelasan gesek yang menggunakan *flywheel* pada *spindle* sebagai penyimpan energi. Metode ini umumnya menerapkan tekanan aksial konstan selama proses, dengan *flywheel* yang dapat disesuaikan massanya. Pengaturan kecepatan rotasi *flywheel* memungkinkan kontrol yang akurat atas energi total yang digunakan dalam pengelasan. Pendekatan ini

memberikan fleksibilitas dan presisi tinggi dalam mengoptimalkan proses pengelasan untuk berbagai jenis material, menjadikannya pilihan yang efektif untuk aplikasi pengelasan yang memerlukan kontrol energi yang tepat..(Kurniati et al., 2015)



Gambar 2. 8 Skema setup untuk *inertia welding (friction welding)*

- **Pengelasan Tekan Dingin:** Melibatkan penerapan tekanan pada dua permukaan logam pada suhu rendah hingga terbentuk sambungan.
- **Pengelasan Las Titik (Spot Welding):** Menggunakan elektroda untuk menerapkan tekanan dan aliran listrik ke titik-titik tertentu pada logam yang akan disambun

2.3.2 Pengujian Pada Pengelasan

Tiga metode yang umum diaplikasikan adalah uji ketahanan terhadap tarikan, analisis struktur mikro, dan pengukuran tingkat kekerasan material. Beberapa teknik penelitian yang digunakan dalam pengujian hasil las:

2.3.2.1 Uji Kekerasan Vickers

Dalam dunia rekayasa material, pengujian kekerasan memiliki peran penting dengan interpretasi yang beragam tergantung pada bidang keahlian. Secara umum, kekerasan didefinisikan sebagai resistensi suatu bahan terhadap deformasi lokal yang bersifat sementara. Bagi insinyur perancang, nilai kekerasan merefleksikan batas aliran material. Ahli pelumas memandangnya sebagai indikator ketahanan terhadap aus, sementara para ahli mineral mengaitkannya dengan daya tahan bahan secara keseluruhan.

Dalam penelitian ini, tingkat kekerasan material diukur menggunakan alat uji kekerasan Vickers. Perangkat ini mengaplikasikan tekanan tertentu melalui indenter berbentuk piramida yang terbuat dari berlian, dengan basis berbentuk

persegi. Piramida tersebut dirancang dengan sudut 136° di antara sisi-sisi yang berlawanan. Proses indentasi dilakukan selama 15 detik, dan alat ini mampu memberikan hasil dengan ketelitian antara 2 sampai 4 mikromilimeter. Pengukuran dilakukan pada dua arah diagonal bekas tekanan: horizontal (d1) dan vertikal (d2). Nilai akhir kekerasan diperoleh dari rata-rata kedua diagonal tersebut, yang disimbolkan sebagai d. Nilai kekerasan dapat dihitung dengan menggunakan rumus Vickers sebagai berikut:

$$\text{VHN} = \frac{2P \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{d^2} = \frac{1,854 P}{d^2} = (\text{kg/mm}^2) \dots \dots \dots (3)$$

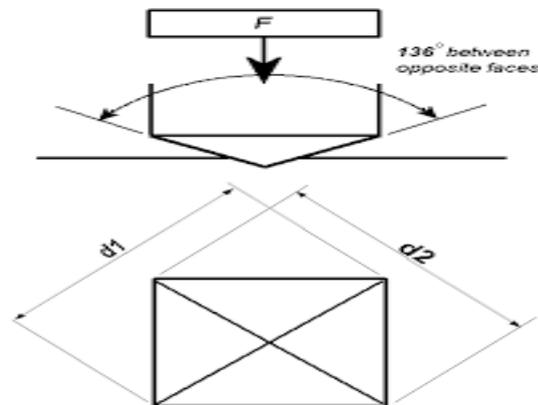
P = beban panjang digunakan N (kg)

D = panjang diagonal penginjakan penetrator (mm)

θ = sudut antara permukaan intan (Vickers) = 136°

Kg = Newton/gravitasi (Satuan)

Pengujian kekerasan Vickers mendasarkan perhitungannya pada rasio antara beban yang diberikan dan luas permukaan jejak indentasi. Luas ini ditentukan melalui pengamatan mikroskopik terhadap panjang diagonal jejak. Mengingat logam mengalami deformasi dengan laju yang konstan saat diberi tekanan, nilai kekerasan yang diperoleh memiliki korelasi dengan kekuatan luluh atau kekuatan tarik material tersebut. Dalam prosedur pengujian, operator biasanya memilih beban indenter yang sesuai, umumnya berkisar antara 50 hingga 500 unit, tergantung pada karakteristik material yang diuji. Pemilihan beban yang tepat sangat krusial, karena kesalahan dalam hal ini dapat mengakibatkan interpretasi yang keliru terhadap sifat-sifat material spesimen. (Syariah & Ilmu, n.d.).



Gambar 2. 9 Metode Pengujian Kekerasan Vickers

2.3.2.2 Uji Tarik

Evaluasi sambungan las melibatkan metode destruktif dan non-destruktif, dengan uji tarik standar sebagai teknik destruktif utama untuk mengukur kekuatan mekanis. Kinerja sambungan dalam uji ini dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk sifat logam dasar, luas zona terpengaruh panas, karakteristik logam las, geometri sambungan, dan distribusi tegangan. Melalui analisis komprehensif ini, insinyur dapat mengidentifikasi kelemahan potensial, mengoptimalkan proses pengelasan, dan meningkatkan kualitas hasil akhir. Pendekatan ini tidak hanya memastikan integritas struktural, tetapi juga mendorong pengembangan teknik pengelasan yang lebih efisien dan andal untuk berbagai aplikasi industri, memungkinkan adaptasi terhadap tuntutan teknologi modern yang terus berkembang. (Prasetyo Koesgi et al., 2021).

Dalam proses evaluasi sifat mekanik material, uji tarik memegang peranan penting. Prosedur ini memerlukan spesimen khusus yang disebut batang penegang, yang dibuat sesuai dengan dimensi standar dari sampel yang akan dianalisis. Uji tarik, sebagai salah satu metode pengujian fundamental, memberikan informasi krusial tentang karakteristik mekanis suatu bahan.

Pelaksanaan uji tarik melibatkan pemasangan spesimen pada alat uji universal. Kedua ujung spesimen dijepit dengan kuat pada rangka pembebanan. Saat mesin mengaplikasikan gaya tarik, spesimen

mengalami peregangan progresif hingga akhirnya mencapai titik patah. Proses ini memungkinkan peneliti untuk mengamati dan mengukur respons material terhadap tekanan, memberikan data penting tentang kekuatan, elastisitas, dan titik patah bahan. Informasi yang diperoleh dari uji ini sangat berharga dalam berbagai aplikasi teknik, mulai dari desain struktural hingga pengembangan material baru. (Prasetyo Koesgi et al., 2021).

Benda uji dibebani secara bertahap sampai pecah pada saat pengujian pada saat itu, sifat tariknya dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$\text{Tegangan: } \sigma = \frac{F}{A_0} (\text{kgf/mm}^2) \dots\dots\dots (1)$$

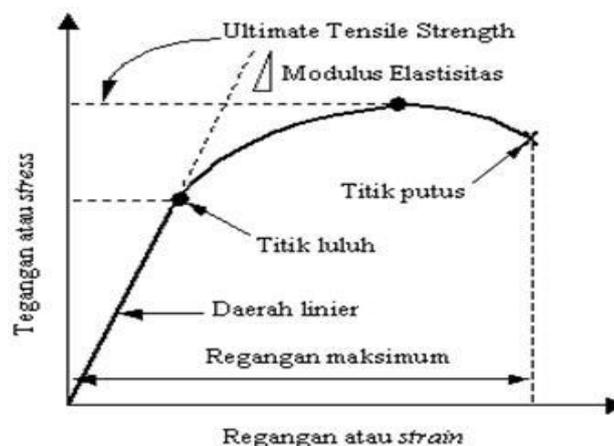
Dimana: F = beban (kgf)

A_0 = luas mula dari penampang batang uji (mm^2)

$$\text{Regangan: } \varepsilon = \frac{L-L_0}{L_0} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

Dimana: L_0 = panjang mula dari batang uji (mm^2)

L = panjang batang uji yang dibebani (mm^2)



Gambar 2. 10 Kurva Tegang-Regangan

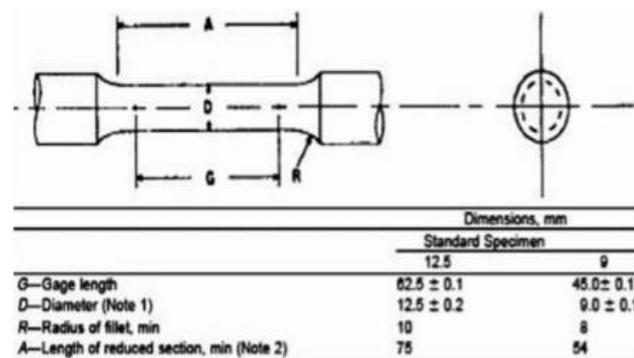
Gambar 2-12 mengilustrasikan keterkaitan antara tegangan dan regangan .pada diagram tersebut, titik P menandai batas dimana Hooke masih berlaku, dikenal sebagai batas proposional. Sementara titik E mewakili batas dimana jika beban dihilangkan, tidak akan ada

perpanjangan permanen pada bahan uji, yang disebut batas elastis. Penentuan titik E sering kali sulit karena biasanya ditetapkan sebagai batas elastis dengan perpanjangan tetap dalam kisaran 0,005% hingga 0,01%. Titik S1 dan S2 masing-masing merujuk pada titik luluh atas dan bawah. Pada beberapa jenis logam, batas luluh ini mungkin tidak terlihat dalam diagram tegangan-regangan, sehingga tegangan luluhnya sering ditentukan sebagai tegangan yang terjadi saat regangan mencapai 0,2% (Firmansyah & Sunyoto, 2021)

Dalam analisis kekuatan material, mesin uji universal berperan penting untuk melaksanakan uji tarik. Prosedur dimulai dengan pemasangan spesimen pada pemegang khusus, diikuti pemberian beban yang ditingkatkan bertahap hingga spesimen patah. Selama proses ini, perangkat perekam mendata perubahan panjang dan beban yang diberikan.

Data yang diperoleh divisualisasikan dalam grafik regangan-tegangan, memberikan informasi penting tentang karakteristik material seperti titik leleh, kekuatan maksimum, elastisitas, serta ketahanan dan fleksibilitas sambungan las. Spesimen yang digunakan dalam penelitian ini mengikuti standar ASTM E8, menjamin validitas hasil.

Metode ini memungkinkan para ahli untuk memahami secara mendalam bagaimana material bereaksi terhadap tekanan, pengetahuan yang crucial dalam berbagai aspek rekayasa material dan pengembangan teknologi baru. Dengan pendekatan sistematis ini, insinyur dapat mengoptimalkan desain dan pemilihan material untuk berbagai aplikasi industri. (Firmansyah & Sunyoto, 2021).



Gambar 2. 11 Sampel Standar Uji Trik E8 ASTM Volume 3

2.5 Standar Pengujian Tarik

ASTM E8/E8M adalah standar yang ditetapkan oleh ASTM International untuk pengujian tarik pada bahan logam. Standar ini mencakup prosedur pengujian, persiapan spesimen, dan parameter yang diukur selama pengujian tarik. Berikut adalah penjelasan mendetail tentang ASTM E8/E8M:

1. Tujuan dan Ruang Lingkup:

Standar ASTM E8/E8M bertujuan untuk menentukan sifat mekanik bahan logam melalui pengujian tarik. Ruang lingkup standar ini mencakup metode pengujian tarik pada spesimen logam yang dipersiapkan sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan.

2. Jenis Spesimen:

Spesimen yang digunakan dalam pengujian tarik dapat berupa:

- Spesimen berbentuk batang: Biasanya digunakan untuk logam padat.
- Spesimen berbentuk lembaran atau plat: Digunakan untuk bahan tipis.

3. Persiapan Spesimen:

- Dimensi: Spesimen harus dipersiapkan dengan dimensi yang sesuai dengan standar untuk memastikan hasil yang akurat. Dimensi spesimen meliputi panjang, diameter, atau ketebalan, serta bentuk ujung yang melebar untuk penjepitan.
- Permukaan: Permukaan spesimen harus bersih dan bebas dari cacat yang dapat mempengaruhi hasil pengujian. Permukaan yang kasar atau cacat harus dihindari.

4. Prosedur Pengujian:

- Penjepitan Spesimen: Spesimen dijepit pada mesin uji tarik dengan hati-hati untuk memastikan penjepitan yang merata dan menghindari konsentrasi tegangan.
- Pengaplikasian Gaya: Mesin uji tarik memberikan gaya tarik pada spesimen dengan laju yang konstan hingga spesimen putus. Laju regangan biasanya ditentukan oleh standar dan disesuaikan dengan jenis material yang diuji.
- Pengukuran: Data gaya dan perpindahan (regangan) dicatat selama pengujian. Kurva tegangan-regangan dibuat berdasarkan data ini.

5. Parameter yang Diukur:

- Kekuatan Tarik Maksimum (Ultimate Tensile Strength, UTS): Tegangan maksimum yang dicapai oleh spesimen sebelum putus.
- Tegangan Luluh (Yield Strength): Tegangan di mana material mulai mengalami deformasi plastis. Ini dapat diukur sebagai tegangan pada titik luluh proporsional atau tegangan luluh offset (biasanya 0,2% regangan offset).
- Modulus Elastisitas (Young's Modulus): Rasio antara tegangan dan regangan di daerah elastis.
- Regangan (Elongation): Perubahan panjang relatif dari spesimen hingga putus, dinyatakan dalam persen.
- Pengurangan Luas (Reduction of Area): Perubahan luas penampang spesimen di daerah patah, juga dinyatakan dalam persen. (Romadhan et al., 2019).

6. Pelaporan Hasil:

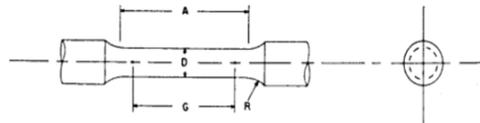
Hasil pengujian harus mencakup:

- Data numerik: Kekuatan tarik maksimum, tegangan luluh, modulus elastisitas, regangan, dan pengurangan luas.
- Kurva tegangan-regangan: Menunjukkan hubungan antara tegangan dan regangan selama pengujian.
- Informasi pengujian: Kondisi pengujian seperti suhu, laju regangan, dan peralatan yang digunakan.

- Deskripsi spesimen: Jenis dan dimensi spesimen.

7. Keuntungan Menggunakan ASTM E8/E8M:

- Standarisasi: Menyediakan metode yang standar dan dapat diulang untuk menguji sifat tarik logam.
- Akurasi dan Keandalan: Menjamin bahwa hasil pengujian akurat dan dapat dibandingkan dengan hasil dari laboratorium lain yang menggunakan standar yang sama.
- Konsistensi: Membantu memastikan konsistensi dalam pengujian dan pelaporan hasil.



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]

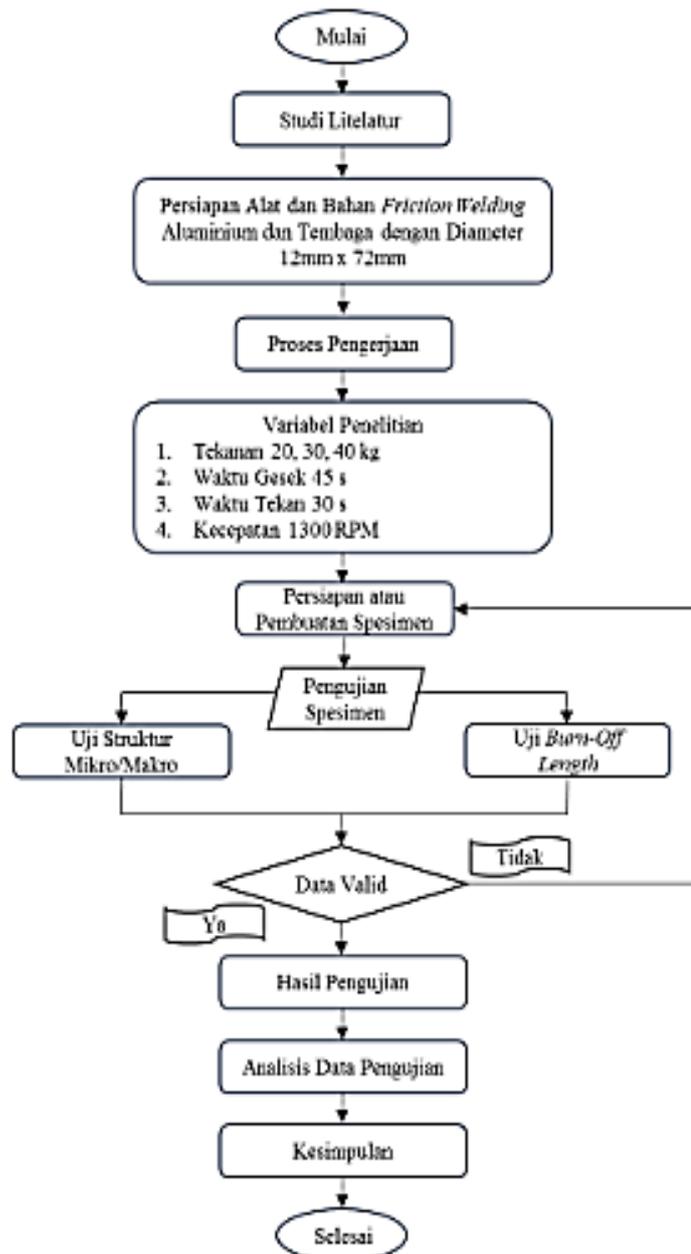
Dimensions, mm [in.]					
For Test Specimens with Gauge Length Five times the Diameter [E8M]					
	Standard Specimen	Small-Size Specimens Proportional to Standard			
	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4	Specimen 5
G—Gage length	62.5 ± 0.1 [2.500 ± 0.005]	45.0 ± 0.1 [1.750 ± 0.005]	30.0 ± 0.1 [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. 12 Spesimen uji tarik standar ASTM

BAB.3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir

Berikut ialah diagram alir pada saat proses penelitian.



Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

3.2.1 Alat Penelitian

1. Mesin Gerinda Potong

Mesin gerinda potong berfungsi untuk memotong specimen benda kerja yang digunakan untuk proses pengelasan dan specimen pengusji agar ukurannya sesuai dengan yang telah ditentukan.

2. Thermometer Inframerah

Thermometer Inframerah digunakan untuk mengetahui temperature suhu pada sambungan saat proses pengelasan gesek berlangsung. Thermometer inframerah dapat digunakan untuk mengukur suhu tanpa kontak fisik dengan objek ukur. Prinsipnya adalah dengan mengukur besarnya energi inframerah yang dipancarkan oleh ukur. Semakin panastemperatur benda kerja, maka semakin banyak energi inframerah yang dipancarkan.

3. Mesin Bubut

Mesin bubut digunakan pada saat peroses pembuatan specimen pengelasan friction welding dan specimen uji tarik.

4. Mesin Uji Tarik

Mesin uji tarik berguna untuk mengetahui nilai kekuatan Tarik Alumunium 6061 dan Tembaga.

5. Mikro Vickers Machine

Mesin ini berfungsi untuk menguji kekerasan specimen benda kerja pada daerah pengelasan Alumunium 6061 dan Tembaga.

3.2.2 Bahan Penelitian

Objek penelitian yang akan digunakan untuk pengumpulan data dalam studi ini adalah bahan sebagai berikut:

1. Aluminium 6061

Studi ini menggunakan Aluminium 6061 sebagai bahan utama. Material tersebut diproses untuk membentuk sampel uji dengan dimensi spesifik: panjang 72 milimeter dan diameter 12 milimeter.

2. Tembaga (Cu)

Studi ini memanfaatkan tembaga (Cu) sebagai bahan utama. Spesimen uji dibuat dengan dimensi awal panjang 72 mm dan diameter 12 mm. Kemudian, bagian depan spesimen dimodifikasi menggunakan proses pembubutan untuk mencapai diameter 9 mm sepanjang 21-22,5 mm. Modifikasi ini dilakukan agar spesimen sesuai dengan standar dimensi untuk pengujian tarik

3.3 Tempat Penelitian

3.3.1 Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan di:

1. Proses pembuatan spesimen dan pengelasan dilaksanakan di fasilitas laboratorium mesin yang berlokasi di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri dan Informatika, Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka di Jakarta.
2. Laboratorium Universitas Indonesia Depok, Jawa Barat. Dilakukan Pengujian hasil specimen yang telah selesai dibuat

3.4 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data yang dipakai dalam penelitian ini dengan cara teknik observasi, ialah dengan mengamati dengan mengamati langsung objek penelitian agar mendapatkan data yang diinginkan

3.4.1 Variabel Penelitian

Menurut Sugiyono (2016: 60), Variabel penelitian ialah sesuatu yang perlu diamati dalam bentuk apapun pada saat peneliti putuskan untuk memperoleh informasi tentangnya dan menarik kesimpulan.

3.4.2 Variabel Bebas (*Independent*)

Variabel bebas menurut Sugiyono (2015:61) Variabel bebas merupakan variabel dalam suatu penelitian yang dapat diatur, dimanipulasi, atau diubah oleh peneliti untuk melihat pengaruhnya terhadap variabel lain yang disebut variabel terikat. Dalam konteks penelitian, variabel bebas adalah faktor atau kondisi yang diasumsikan dapat mempengaruhi atau menyebabkan perubahan pada variabel

terikat yaitu variabel variasi tekanan 20 kg/cm^2 , 30 kg/cm^2 , 40 kg/cm^2 pada saat proses pengelasan.

3.4.3 Variabel Terikat (Dependen)

Menurut Sugiyono (2015:61) Variabel terikat, atau juga disebut variabel dependen, adalah variabel dalam suatu penelitian yang nilainya bergantung pada variabel bebas atau faktor yang sedang diteliti. Dalam konteks eksperimen atau studi observasional, variabel terikat adalah hasil atau respons yang diamati atau diukur sebagai akibat dari manipulasi atau pengaruh variabel bebas. Dengan kata lain, variabel terikat adalah variabel yang dipengaruhi oleh variabel bebas dalam suatu penelitian. Dalam penelitian ini, variabel terikatnya adalah:

1. Nilai kekerasan ukuran partikel dan komposisi dasar dalam sambungan pengelasan.
2. Nilai kekerasan sambungan pengelasan
3. Nilai kekuatan tarik sambungan pengelasan

3.4.4 Variabel Kontrol

Menurut Sugiyono (2016:64) Variabel kontrol adalah variabel dalam suatu penelitian yang diatur atau dipertahankan agar nilainya tetap konstan atau tidak berubah selama eksperimen atau studi. Variabel kontrol ini penting untuk memastikan bahwa perbedaan dalam variabel terikat (dependen) dapat diatribusikan secara khusus kepada variabel bebas (independen) yang sedang diteliti, tanpa adanya pengaruh dari variabel lain yang tidak diinginkan. Dengan mengontrol variabel-variabel ini, peneliti dapat meningkatkan validitas dan keandalan hasil penelitian mereka.

1. Bahan material yang digunakan adalah Aluminium 6061 dan Tembaga (Cu).
2. Ukuran setiap specimen untuk pengelasan menggunakan Panjang 72mm dan dengan diameter 12mm. untuk specimen uji tarik material tembaga (Cu) sesuai ukuran uji tarik diameter dibagian tampak depan di perkecil menjadi 9 mm dengan Panjang 21-22,5 mm.

3. Mesin bubut dengan spesifikasi Yungsan SN-1640D yang diproduksi di China dengan putaran maksimal sebesar 2000 Rpm digunakan sebagai Mesin *friction welding*

3.5 Pelaksanaan Penelitian

Proses pelaksanaan pengelasan menggunakan metode *Friction Welding* ini dilaksanakan di Laboratorium Permesinan Fakultas Teknologi Industri dan Informasi Prodi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka Jakarta. Tahapan kerja penelitian adalah sebagai berikut

1. Dalam persiapan untuk proses pengelasan, dua jenis material digunakan sebagai spesimen uji. Pertama, Aluminium 6061 disiapkan dengan dimensi panjang 72 mm dan diameter 12 mm. Kedua, tembaga (Cu) juga dibentuk dengan ukuran serupa. Namun, untuk spesimen tembaga, dilakukan modifikasi tambahan. Bagian depan spesimen tembaga diproses menggunakan mesin bubut untuk mengurangi diameternya menjadi 9 mm sepanjang 21-22,5 mm. Modifikasi ini dilakukan agar spesimen sesuai dengan standar dimensi yang diperlukan untuk uji tarik..
2. Prosedur Pemanasan Tembaga (Cu)
 - a. Mempersiapkan tabung gas elpiji 3 kg dan tabung oksigen sebagai campuran untuk pemanasan tembaga (Cu).



Gambar 3. 2 Persiapan tabung gas elpiji dan tabung oksigen

- b. Mempersiapkan material spesimen tembaga (Cu) yang akan dipanaskan pada mesin bubut



Gambar 3. 3 Persiapan tembaga yang akan dipanaskan

- c. Proses pemanasan tembaga (Cu) sampai menemui titik lunak dengan waktu pemanasan 45s dan proses penekan dengan waktu 30s.



Gambar 3. 4 Proses pemanasan tembaga (Cu)

3. Prosedur Pengelasan

- a. Mempersiapkan mesin bubut.



Gambar 3. 5 Mesin bubut

- b. Mempersiapkan benda kerja pada mesin bubut untuk memulai proses pengelasan.



Gambar 3. 6 Persiapan benda kerja

- c. Memulai proses pengelasan dengan cara *friction welding* dengan cara memutar tembaga sehingga bergesekan dengan aluminium selama 45 detik, kemudian setelah tercapai waktu gesek 45 detik, lalu aluminium diberi tekanan 20 kg/cm^2 , 30 kg/cm^2 , 40 kg/cm^2 , masing-masing selama 30 detik.



Gambar 3. 7 Proses pengelasan friction welding

BAB.4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Untuk menguji logam setelah proses pengelasan, dilakukan pengujian menggunakan metode, seperti Uji Tarik dan Uji Kekerasan (Vickers). Hasil dari pengujian ini akan memberikan informasi penting mengenai kualitas logam yang telah dihasilkan dan kesiapan untuk digunakan sebagai bagian dari alat atau bangunan yang diperlukan. Setelah dilakukan pengelasan specimen diuji dengan parameter tertentu, Untuk pengujian specimen yang digunakan destructive test yaitu Uji tarik dan Uji kekerasan (Vickers), berikut hasil dari pengujian.

4.1.1 Hasil Uji Tarik

Parameter *friction welding* pada specimen sebagai berikut:

Setelah dilakukan pengelasan antara aluminium dengan tembaga mendapatkan parameter data max temeretur yang di peroleh pada proses pengelasan tersebut:

Tabel 4-1 Parameter *friction welding* (uji tarik)

Specimen	Tekanan	Waktu gesek	Waktu tekan	Kecepatan	Suhu (°C)
	kg/cm ²	(s)		Rpm	Maks
1	20	45	30	1300	275
2	30				267
3	40				255

Pada tabel 4.1 merupakan parameter saat proses pengelasan pada ke dua material tembaga dan alumunium yang nantinya akan diuji tarik untuk melihat hasil dari stress dan *strenght*.

Tabel 4-2 Hasil pengujian tarik

Specimen	Tekanan kg/cm ²	Kecepatan putar Rpm	Max load kgf	UTS Mpa
1	20	1300	262.61	39.1
2	30		134.93	20.5
3	40		151.33	22.4

Pada table 4-2 mendapatkan data yang di peroleh setelah proses pengelasan specimen di uji tarik dengan perbandingan tekanan yang berbeda terhadap hasil uji tarik diantaranya Max Load, Yield point, UTS, dan Elongation.

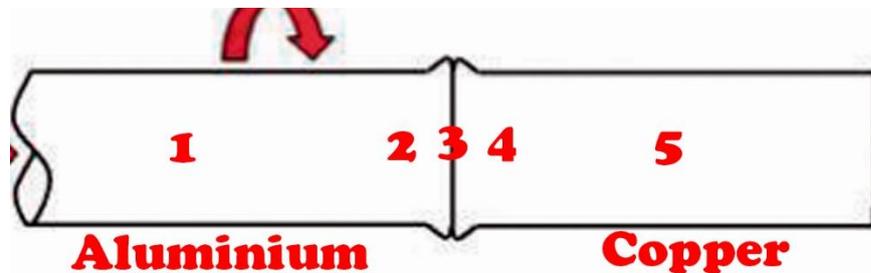
4.1.2 Hasil Uji Kekerasan (Vickers)

Parameter friction welding pada specimen sebagai berikut

Tabel 4-3 Parameter *friction welding* (uji kekerasan vickers)

Specimen	Tekanan	Waktu gesek	Waktu tekan	Kecepatan putar	Maks
	kg/cm ²	(s)		Rpm	
1	20	45	30	1300	289
2	30				287
3	40				280

Pengujian kekearsan pada sempel 1 menghasilkan kekerasan 289 Pa pada sempel 2 menghasilkan kekerasan maks 287 Pa dan sempel 3 menghasilkan kekerasan maks 280 Pa. maka kesimpulan kekerasan terbaik tedapat pada sempel 1 dengan tekanan 20 kg/cm²



Gambar 4. 1 Titik posisi uji kekerasan

Pengujian kekerasan metode vickers menggunakan 5 titik berbeda untuk melihat perbedaan material dan melihat hasil kekerasan dari hasil sambungan antara alumunium terhadap tembaga. Hasil uji kekerasan dipengaruhi oleh faktor-faktor lain saat dilakukan proses friction welding pada specimen. Dapat dilihat pada tabel 4.4 hasil uji kekerasan pada 3 specimen.

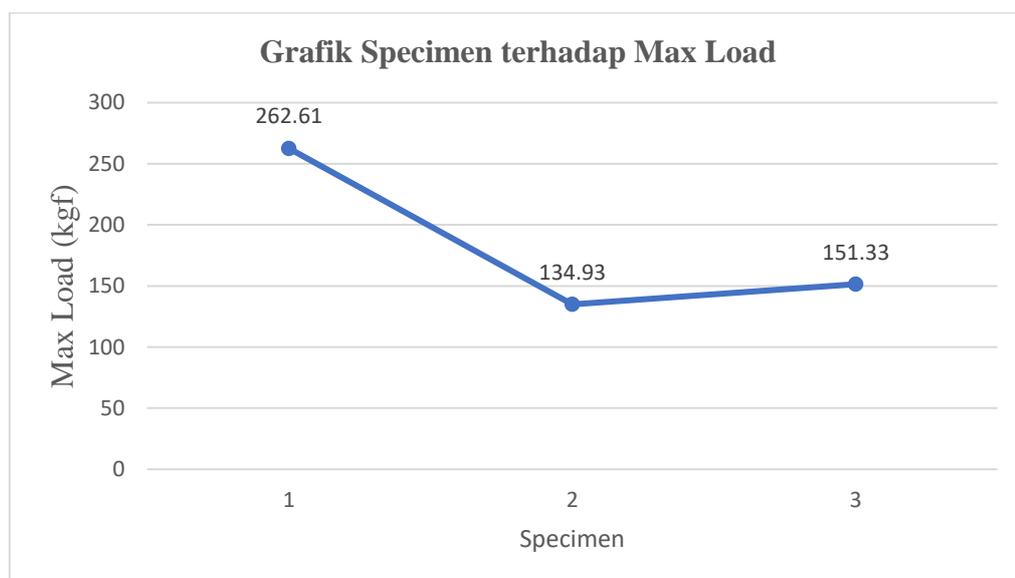
Tabel 4-4 Hasil uji kekerasan (*vickers*)

Sample	Hasil Uji				
	1	2	3	4	5
1	50,4 HV	59,7 HV	56,3 HV	57,9 HV	57,3 HV
2	51,7 HV	61,6 HV	56,5 HV	59,7 HV	56,2 HV
3	51,1 HV	57,3 HV	57,0 HV	57,9 HV	56,9 HV
Rata-Rata	51,1 HV	59,5 HV	56,6 HV	58,5 HV	56,8 HV

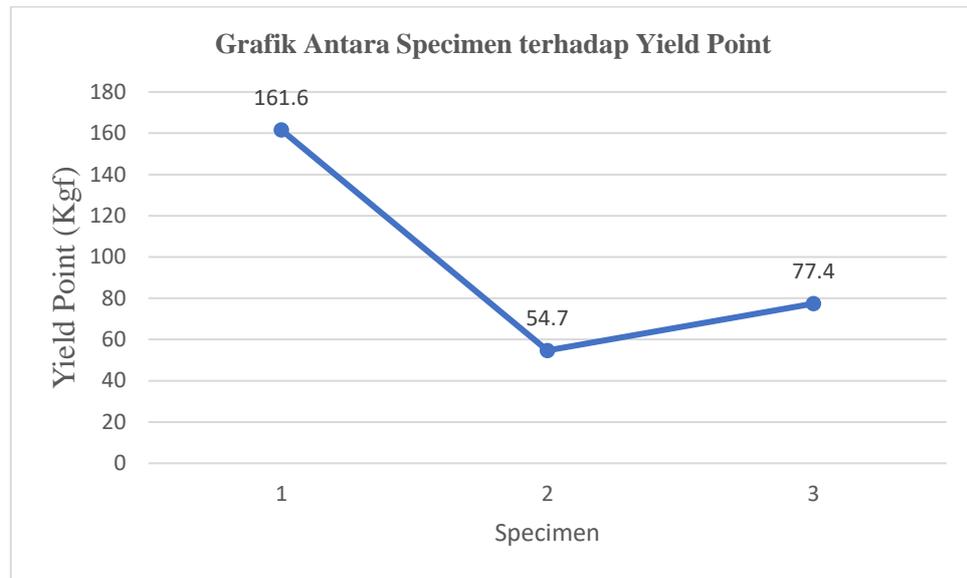
4.2 Pembahasan Hasil Pengujian

Setelah dilakukan proses friction welding selanjutnya specimen dilakukan pengujian, berikut merupakan grafik hasil dari Uji Tarik dan Uji Kekerasan (Vickers).

4.2.1 Grafik Hasil Uji Tarik

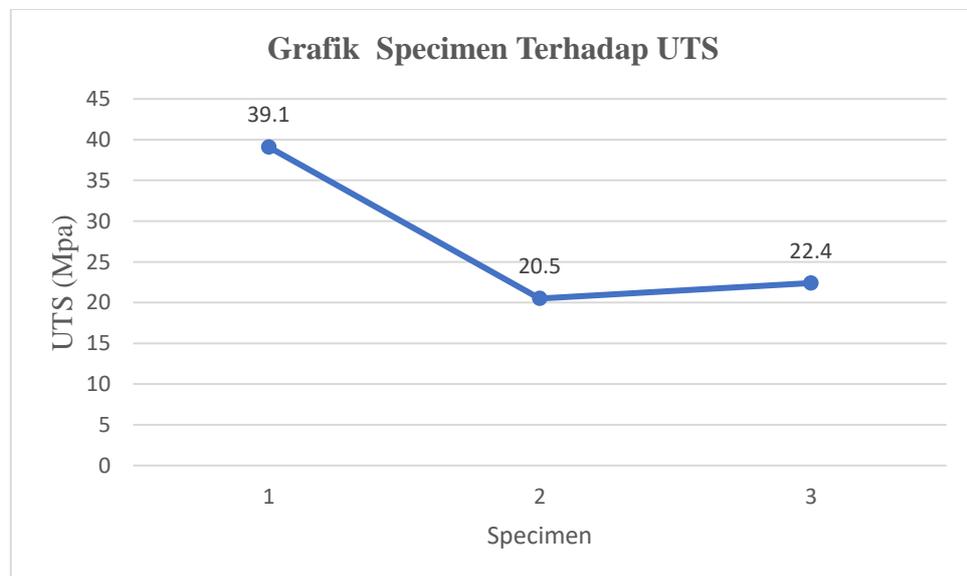
**Gambar 4. 2** Grafik specimen terhadap *max load*

Pada Gambar 4.1 hasil uji tarik Max Load terlihat specimen dengan menggunakan tekanan 20 kg menghasilkan nilai tertinggi yaitu (262,61 kgf) ini dikarenakan semakin besar tekanan maka mempengaruhi hasil keuletan dari sebuah material.



Gambar 4. 3 Grafik Specimen terhadap *yield point*

Seperti grafik *Max Load*, hasil dari *Yield Point* memiliki nilai tertinggi 161,6 Kgf untuk specimen ke 1 fenomena ini terjadi dikarenakan pengaruh dari tekanan saat proses friction welding.



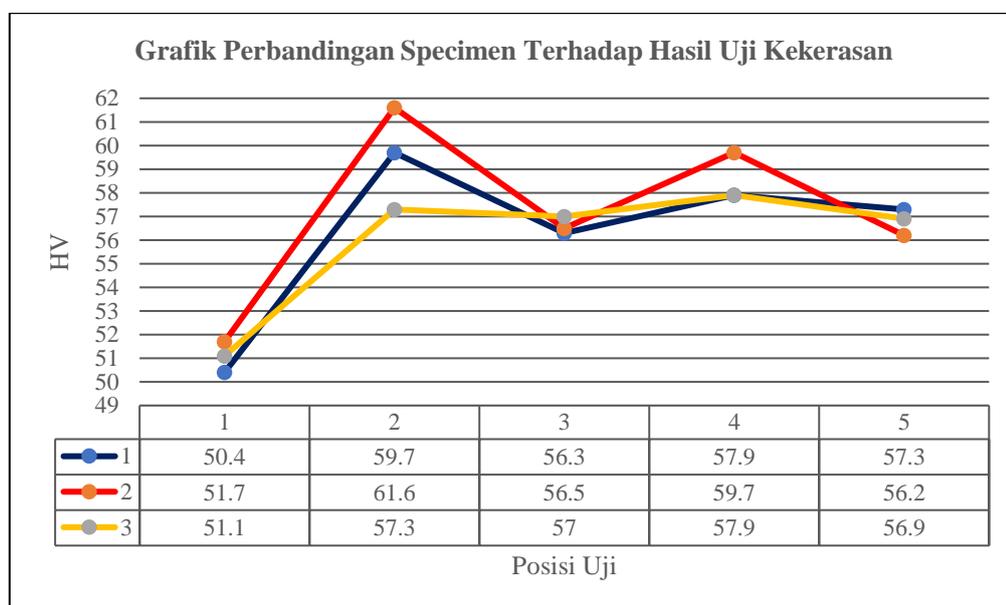
Gambar 4. 4 Grafik specimen terhadap UTS

UTS (*Ultimate Tensile Strength*) yang dihasilkan dari 3 specimen menunjukkan perubahan yang signifikan terutama untuk specimen pertama dimana nilai UTS lebih tinggi dari specimen yang lain, hal ini terjadi dikarenakan pengaruh tekanan saat proses welding berlangsung tekana sangat mempengaruhi temperatur.

Semakin besar tekanan yang di berikan akan semakin kecil gaya gesek yang dihasilkan hal ini dapat di lihat dari table temperatu, sedangkan semakin temperatur tinggi semakin baik proses gesekan antar kedua material.

4.2.2 Grafik Hasil Uji Kekerasan (Vickers)

Uji kekerasan dilakukan dengan menggunakan Micro Hardness Vickers. Uji kekerasan dilakukan pada setiap benda uji yang dilas dengan memvariasikan kecepatan pahat pin. Tabel 4.4 menunjukkan hasil pengujian kekerasan pada daerah zona HAZ. Berikut adalah grafik yang membandingkan nilai kekerasan rata-rata untuk setiap variasi.



Gambar 4. 5 Grafik perbandingan specimen terhadap hasil uji kekerasan

Hasil Uji kekerasan pada posisi uji titik no 3 tepat dimana 2 material menyatu dengan tekanan yang berbeda menghasilkan nilai tertinggi pada tekanan 20 kgcm^2 , semakin besar tekanan maka akan nilai kekerasan semakin tinggi. Tekanan saat proses friction berpengaruh terhadap nilai kekerasan pada sebuah logam, semakin besar nilai tekanan maka semakin besar nilai kekerasan yang dihasilkan.

Selain tekanan waktu gesek dan tekan juga dapat mempengaruhi nilai uji kekerasan pada sebuah material uji, hal ini disebabkan karena semakin cepat waktu gesek maka hasil dari friction welding

BAB.5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Hasil penelitian pada penelitian ini iyalah, dapat disimpulkan dari Uji Tarik dan Uji Kekerasan pada material alumunium dan Tembaga sebagai berikut:

1. Hasil Uji tarik menunjukkan nilai tertinggi pada specimen ke 1 dengan nilai Max load 262.61 kgf, Yield point 161.6 kgf, Ultimate Tenshile strenght 39.1 Mpa. Pada saat proses welding material menggunakan tekanan yang berbeda yaitu 20 kg/cm^2 , 30 kg/cm^2 , 40 kg/cm^2 , meghasilkan nilai uji tarik tertinggi pada specimen ke 1 hal ini berbanding tebalik dengan nilai tekanan yang semakin besar maka hasil uji tarik semakin ulet.
2. Terdapat perbedaan nilai kekerasan pada setiap specimen, hal ini disebabkan akibat variasi tekanan saat proses friction welding. Yaitu menggunakan variasi tekanan 20kg/cm^2 , 30kg/cm^2 dan 40kg/cm^2 . Menghasilkan nilai yang bervariasi dan bertingkat pada hasil uji kekerasan, semakin besar nilia tekanan semakin besar juga nilai kekerasan yang dihasilkan nilai tertinggi ada pada specimen ke 1 dengan tekanan 20 kg/cm^2 menghasilkan nilai (56,3HV).

5.2 Saran

Sesudah menganalisa dan mengamati hasil penelitian terhadap nilai strenght dan kekerasan ada Beberapa rekomendasi untuk memperbaiki dan mengoptimalkan hasil penelitian ini adalah sebagai berikut. Aspek-aspek yang perlu diperhatikan meliputi:

1. Menggunakan bahan material yang berbeda seperti aluminium dengan aluminium dan melakukan uji Tarik dan kekerasan
2. Melakukan variasi yang berbeda seperti variasi sudut atau variasi permukaan pada saat pengelasan

DAFTAR PUSTAKA

- dwi saputra renovian. (2020). *Analisis Sifat fisik dan Mekanik Hasil Pengelasan Rotary Friction Welding Pada Sambungan Dissimilar Alumunium T6061-AISI 1012 Dengan Variasi Bentuk Sambungan*. 1–75.
- Firmansyah, Y., & Sunyoto. (2021). Analisis Kekuatan Tarik Sambungan Aluminium (Al) dan Tembaga (Cu) pada Pengelasan Gesek (Friction Welding) Dengan Variasi Waktu Gesek dan Tempa. *Departemen Teknik Mesin*, 23(3), 9–15.
- Husodo, N., Sanyoto, B. L., Setyawati, S. B., & Mursid, M. (2013). Penerapan Teknologi Las Gesek (Friction Welding) dalam Rangka Penyambungan Dua Buah Logam Baja Karbon St41 pada Produk Back Spring Pin. *Jurnal Energi Dan Manufaktur*, 6(1), 43–52.
- Kurniati, I. D., Setiawan, R., Rohmani, A., Lahdji, A., Tajally, A., Ratnaningrum, K., Basuki, R., Reviewer, S., & Wahab, Z. (2015). *Buku Ajar*.
- Kurniawan, F., Pembimbing, D., Kurniawan, B. A., Jatimurti, W., Material, D. T., & Industri, F. T. (2018). *ALUMINIUM DAN TEMBAGA HASIL FRICTION STIR WELDING (FSW)*.
- Mitsak, A. G., Birla, R. K., & Hollister, S. J. (2007). *M 2 2 2*. 83(4), 2007.
- Pranata, S., Sugiyarto, S., & Erwanto, E. (2023). Pengaruh Variasi Waktu Gesek Pada Pengelasan Gesek (Friction Welding) Terhadap Kekuatan Impak Baja AISI 1045 Dengan Stainless Steel. *Jurnal Inovasi Teknologi Terapan*, 1(1), 114–120. <https://doi.org/10.33504/jitt.v1i1.73>
- Prasetyo Koesgi, D., Sehono, & Wicaksono, D. (2021). Pengaruh Pemanasan Awal Terhadap Sifat Mekanik Sambungan Spot Friction Stir Welding Dalam Pemasangan Rivet Alumunium 2024. *Teknika STTKD: Jurnal Teknik, Elektronik, Engine*, 7(1), 140–153. <https://doi.org/10.56521/teknika.v7i1.315>
- Putra, A. D., Purwanto, H., & Syafa'at, I. (2020). Analisis Sifat Fisik Dan Mekanik Pada Sambungan Las Gesek Dua Jenis Material Alumunium Dan Tembaga Dengan Variasi Putaran. *Jurnal Ilmiah Momentum*, 16(1), 35–40. <https://doi.org/10.36499/mim.v16i1.3352>
- Romadhan, A. R., Nugroho, A. W., Suwanda, T., & Wilza, R. (2019). Sifat Tarik dan Struktur Mikro Sambungan Las Gesek Tak Sejenis Baja-Tembaga. *JMPM (Jurnal Material Dan Proses Manufaktur)*, 3(1), 20–27. <https://doi.org/10.18196/jmpm.3133>
- Seraceddin Levend Zorluoglu. (2012). No Title طرق تدريس اللغة العربية. *Экономика Региона*, 32.
- Waluyo, M. B., & Waas, V. D. (2022). Pengaruh Laju Pengelasan Terhadap Kekuatan Tarik Pengelasan Friction Stir Welding Material Aluminium. *Journal Teknik Mesin, Elektro, Informatika, Kelautan Dan Sains*, 2(1), 51–55. <https://doi.org/10.30598/metiks.2022.2.1.51-55>
- Saputri, D. H. (2013). Avatomi akar kecubung (Datura metel L.) SETELAH terparapar logam berat tembaga. Universitas Gadjah Mada.
- Septia, W., Mafakhir, M. Z., Rieziq, N. M., Adila, S. N., Putri, T. A., & Sasongko,

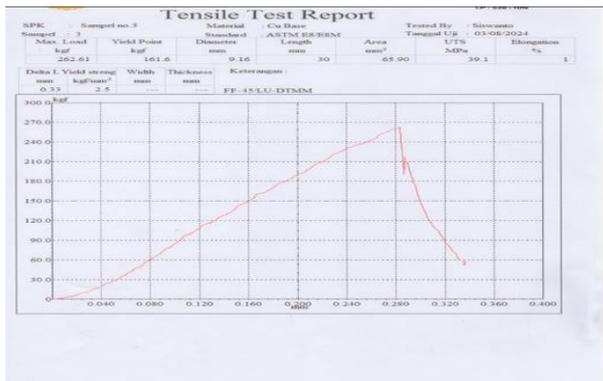
- W. (2020). Potensi Sumber Daya Mineral Logam Dan Non Logam Di Provinsi Sumatera Bara. *Jurnal Georafflesia: Artikel Ilmiah Pendidikan Geografi*, 5(1), 87-95.
- Shercliff, H. R., Colegrove, P. A., Mishra, R. S., & Mahoney, M. W. (2007). Process modeling. *Friction Stir Welding and Processing*, 187-217.
- Sun, R., Slusarz, P., & Terry, C. (2005). The interaction of the explicit and the implicit in skill learning: A dual-process approach. *Psychological Review*, 112(1), 159.
- Sunyoto, W. (2023). *Analisis Kekuatan Tarik Pengelasan Gesek (FrictionWelding) Pada Aluminium 6061 Dengan Variasi KecepatanPutar Dan Beban Tempa*. <http://digilib.unila.ac.id/id/eprint/76428>
- 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

LAMPIRAN

Lampiran A. Foto Patahan Variasi 20 kg/cm²

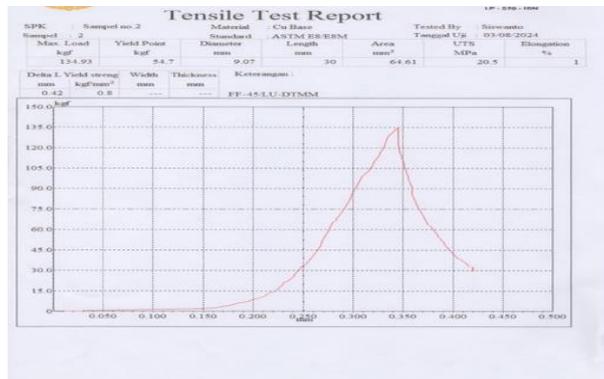
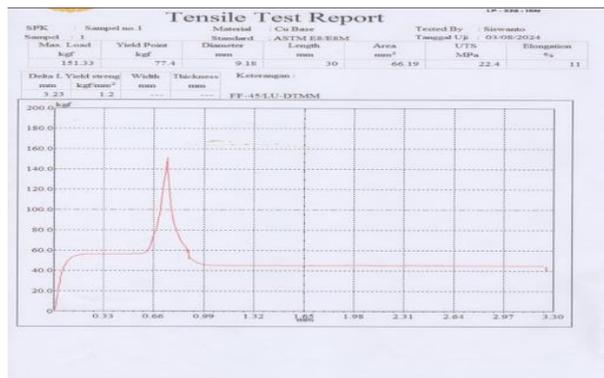


Lampiran B. Hasil Uji Tarik 20kg/cm²



Lampiran C. Foto Patahan Variasi 30kg/cm²



Lampiran D. Hasil Uji Tarik 30kg/cm²Lampiran E. Foto Patahan Variasi 40kg/cm²Lampiran F. Hasil Uji Tarik 40kg/cm²

Lampiran G. Hasil Turnitin

Kurniawan Eko Prasetyo - PENGARUH TEKANAN TERHADAP
SIFAT MEKANIK PADA PENGELASAN FRICTION WELDING
ALUMINIUM DAN TEMBAGA

ORIGINALITY REPORT

12%	10%	2%	6%
SIMILARITY INDEX	INTERNET SOURCES	PUBLICATIONS	STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	Submitted to Academic Library Consortium Student Paper	3%
2	text-id.123dok.com Internet Source	1%
3	123dok.com Internet Source	1%
4	id.123dok.com Internet Source	1%
5	repository.uhamka.ac.id Internet Source	<1%
6	docobook.com Internet Source	<1%
7	jom.untidar.ac.id Internet Source	<1%
8	Submitted to Universitas Negeri Surabaya The State University of Surabaya Student Paper	<1%

Lampiran H. Lembar Bimbingan Skripsi

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH Jember
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN INFORMATIKA UHAMKA

LEMBAR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : KURNIAWAN EKO PRASITYO
 NIM : 1903035078
 Program Studi : Teknik Mesin
 Judul : Pengaruh tekanan terhadap sifat mekanik pada pengelasan friction welding aluminium dan tembaga
 Pembimbing : Ryan Ariyansah, S.T., M.T.

No	Tanggal	Isi Bimbingan	Paraf
1	24/6/24	Programma Judul	
2	24/6/24	Programma Judul	
3	24/6/24	Bab I	
4	25/6/24	Programma Bab I	
5	24/6/24	Daftar Isi & Bab I	
6	24/6/24	Bab II	
7	23/6/24	Bab III	
8	24/6/24	Programma Bab III	
9	24/6/24	Bab IV	

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH Jember
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN INFORMATIKA UHAMKA

No	Tanggal	Isi Bimbingan	Paraf
10	25/6/24	Programma Bab IV	
11	25/6/24	Programma Bab IV	

Widyaiswara,
Dosen Pembimbing
NIM. 0130003192

Mahasiswa,
[Signature]
NIM. 1903035078

Lampiran I. Lembaran Revisi Penguji 1

LEMBAR REVISI SIDANG SKRIPSI TEKNIK MESIN ONLINE (PENGUIJ-1)
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN INFORMATIKA UHAMKA

Nama Mahasiswa : KURNIAWAN EKO PRASITYO
 NIM : 1903035078
 Hari Tanggal Sidang : Senin, 22 Juli 2024
 Nama Pembimbing Skripsi : Ryan Ariyansah, S.T., M.T.
 Judul Skripsi : PENGARUH TEKANAN TERHADAP SIFAT MEKANIK PADA PENGLASAN FRICTION WELDING ALUMINIUM DAN TEMBAGA

Catatan

- Perbaiki format penulisan sesuai panduan
- Perbaiki judul & abstrak (ulit hasil penelitian)
- Perbaiki pendahuluan - latar belakang (yg tdk diperlukan dihapus), rumusan masalah, dan tujuan
- Kajian pustaka : tambahkan klasifikasi tembaga, yg tdk diperlukan dihapus
- Dalam pembahasan gunakan kekuatan tarik maksimum (UTS), ubah grafiknya
- Kesimpulan menjawab tujuan

VALIDASI REVISI	NAMA DOSEN	TANGGAL REVISI	PARAF
Ketua Sidang	Agus Fikri, S.T., M.M., MT	25/7/2024	[Signature]
Pembimbing-1	Ryan Ariyansah, S.T., M.T.	25/7/2024	[Signature]
Pembimbing-2			
Penguji-1	Agus Fikri, S.T., M.M., MT	25/7/2024	[Signature]
Penguji-2	Drs. Mch. Yusuf Djeli, M.M., M.T.	25/7/2024	[Signature]

Selanjutnya, yang bersangkutan harus segera menyelesaikan permasalahan sehubungan dengan skripsi ini, selambat-lambatnya 7 (tujuh) hari setelah tanggal pelaksanaan sidang.

- Apabila revisi telah selesai dan mendapatkan approval (penguji, pembimbing, Kaprodi dan Dekan), maka tulisan (Skripsi, Jurnal) dan Program dikumpulkan dalam Google Drive (Fakultas/Perpustakaan, Pembimbing dan Program Studi)
- Berkas diwarnai sesuai petunjuk dan tanda tangas setiap berkas Asli, untuk softcopy dikumpulkan hasil pemindaian / scanning.
- Batas Akhir Revisi _____ (H/05/1111)
- Batas Akhir Pengumpulan Berkas dan CD (Skripsi, Jurnal) _____ (H/05/1111)

Ryan Ariyansah, S.T., M.T.
Ketua Program Studi Teknik Mesin

Catatan: Daftar revisi ini diserahkan kepada mahasiswa untuk ajuan revisi bagi Dosen Pembimbing

Lampiran I. Lembaran Revisi Penguji 2

LEMBAR REVISI SIDANG SKRIPSI TEKNIK MESIN ONLINE (PENGUJI-2)
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN INFORMATIKA UHAMKA

Nama Mahasiswa
NIM
Hari Tanggal Sidang
Nama Pembimbing Skripsi
Judul Skripsi

:	KURNIAWAN EKO PRASETYO
:	1903035078
:	Senin, 22 Juli 2024
:	Riyan Ariyansah, S.T., M.T.
:	PENGARUH TEKANAN TERHADAP SIFAT MEKANIK PADA PENGELASAN FRICTION WELDING ALUMINIUM DAN TEBAGA

Catatan

1	Berikan contoh untuk komponen listrik
2	Revisi poin di Abstrak
3	
4	
5	
6	

VALIDASI REVISI	NAMA DOSEN	TANGGAL REVISI	PARAF
Ketua Sidang	Agus Fikri, S.T., M.M., MT	25/7/2024	
Pembimbing-1	Riyan Ariyansah, S.T., M.T.	25/7/2024	
Pembimbing-2			
Penguji-1	Agus Fikri, S.T., M.M., MT	25/7/2024	
Penguji-2	Drs. Moh. Yusuf Djedi, M.M., M.T.	25/7/2024	

Selanjutnya, yang bersangkutan harus segera menyelesaikan permasalahan sehubungan dengan skripsi ini, selambat-lambatnya 7 (tujuh) hari setelah tanggal penyelesaian sidang.

- ü Apabila revisi telah selesai dan mendapatkan approval (penguji, pembimbing, Kaprod. dan Dekan), maka tulisan (Skripsi, Jurnal) dan Program dikumpulkan dalam Google Drive (Fakultas@perustakaan, Pembimbing dan Program Studi)
- ü Boks disusun sesuai petunjuk dan tanda target setiap boks Aol, untuk softcopy dilampirkan hasil pemindaian / scanning.
- ü Bata Akhir Revisi (hh/bb/aa)
- ü Bata Akhir Pengumpulan Boks dan CD (Skripsi, Jurnal) (hh/bb/aa)
Wassalamu'alaikum wa Rahmatullahi wa Barokatuhi.

Riyan Ariyansah, S.T., M.T.
Ketua Program Studi Teknik Mesin

Catatan: Daftar revisi ini diarahkan kepada mahasiswa untuk acuan revisi bagi Dosen Pembimbing