

**PENGARUH *FRICTION PRESSURE* DAN *ROTATION SPEED*  
TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR  
MIKRO PADA SAMBUNGAN Al-Cu DENGAN  
METODE *FRICTION WELDING***

**SKRIPSI**

Dibuat untuk memenuhi syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik dari jurusan  
Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa



Oleh:

MOCH ROZAN WALIYYUDIN

3334180037

**JURUSAN TEKNIK METALURGI FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA**

**202**

LEMBAR PENGESAHAN

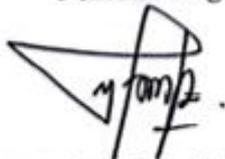
**PENGARUH *FRICTION PRESSURE* DAN *ROTATION SPEED*  
TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR  
MIKRO PADA SAMBUNGAN *Al-Cu* DENGAN  
METODE *FRICTION WELDING***

**SKRIPSI**

Dibuat untuk memnuhi syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik dari jurusan  
Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Disetujui untuk Jurusan Teknik Metalurgi oleh

Pembimbing 1



Yeni Muriani Zulaida S.T.,M.T.  
197401032005012001

Pembimbing 2



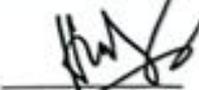
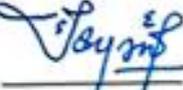
Dr. Ir. Kirman M.MT  
196510291993011001

LEMBAR PERSETUJUAN

**PENGARUH *FRICTION PRESSURE* DAN *ROTATION SPEED*  
TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR  
MIKRO PADA SAMBUNGAN *Al-Cu* DENGAN  
METODE *FRICTION WELDING***

Disusun dan diajukan oleh  
**Moch Rozan Waliyyudin**  
3334180037

Telah disidangkan di depan dewan penguji pada tanggal  
5 Desember 2024

	Susunan Dewan Penguji	Tanda Tangan
Penguji I	: <b>Yeni Muriani Zulaida S.T., M.T</b>	
Penguji II	: <b>Dr. Ir. Kirman M., MT</b>	
Penguji III	: <b>Suryana, S.T., M.Si</b>	

Skripsi ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar  
Sarjana Teknik

Mengetahui  
Ketua Jurusan Teknik Metalurgi  
  
**Abdul Aziz, S.T., M.T., Ph.D**  
NIP. 198003072005011002

## LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya sebagai penulis skripsi berikut

Judul : Pengaruh *Friction Pressure* dan *Rotation Speed*  
Terhadap Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Pada  
Sambungan *Al-Cu* Dengan Metode *Friction*  
*Welding*

Nama Mahasiswa : Moch Rozan Waliyyudin  
Nim : 3334180037  
Fakultas : Teknik

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi tersebut di atas adalah benar-benar hasil karya asli saya dan tidak memuat hasil karya orang lain, kecuali dinyatakan melalui rujukan yang benar dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila di kemudian hari ditemukan hal-hal yang menunjukkan bahwa sebagian atau seluruh karya ini bukan karya saya, maka saya bersedia dituntut melalui hukum yang berlaku. Saya juga bersedia menanggung segala akibat hukum yang timbul dari pernyataan yang secara sadar dan sengaja saya nyatakan melalui lembar ini.

Cilegon, 25 November 2024



Moch Rozan Waliyyudin  
NIM. 3334180037

## ABSTRAK

Pengaruh *Friction pressure* Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Pada Sambungan Al-Cu Dengan Metode *friction welding* bertujuan untuk menjelaskan bagaimana (*friction pressure*) mempengaruhi sifat mekanik dan struktur mikro pada sambungan antara aluminium 6063 (Al) dan tembaga (Cu) menggunakan teknik (*Friction welding*). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh *friction pressure*, *rotation speed*, dan bagaimana pengaruh yang terjadi saat proses *Friction welding* terhadap struktur mikro yang terdapat pada hasil las penelitian ini dimulai dengan tinjauan pustaka tentang sifat-sifat kimia dan fisika dari logam Al dan Cu, sedangkan prinsip-prinsip dasar (*friction welding*). Kemudian dilakukan eksperimen dengan menggunakan metode (*friction welding*) dengan variasi (*Friction pressure*) 18 MPa, 31 MPa dan 42 MPa dan *rotation speed* 2300 rpm, 2100 rpm dan 1900 rpm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *friction welding* signifikan mempengaruhi kekuatan tarik dan kekerasan sambungan pada hasil pengelasan Al-Cu untuk hasil kekuatan tarik pada penelitian ini memiliki nilai sebesar 113,7 MPa untuk kekuatan paling tinggi dan 67,8 MPa untuk kekuatan paling rendah sedangkan kekerasan sambungan menunjukan angka 70 HV untuk hasil sambungan yang paling keras dan 50 HV untuk sambungan yang paling rendah. Analisa struktur mikro juga menunjukkan perubahan yang signifikan pada struktur mikro setelah proses pengelasan gesek. Hal ini menandakan bahwa kontrol variabel *friction pressure* dalam *friction welding* perlu di teliti yang mencerminkan kualitas sambungan logam Al-Cu yang disambungkan menggunakan proses *friction welding*. Dengan demikian, Penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam meningkatkan pemahaman tentang efektivitas penggunaan metode *friction welding* dalam menyambung logam paduan dan logam non paduan seperti Al-Cu, serta memberikan rekomendasi untuk meningkatkan kinerja sambungan logam dalam aplikasi *industri particular* seperti *electrical applications*.

**Kata Kunci:** *Friction welding*, Aluminium 6063, Tembaga, *Mechanical Properties*, *Microstructural*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas berkat limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Penyusunan tugas akhir ini dilaksanakan guna memenuhi persyaratan mata kuliah wajib di jurusan Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Penulis sangat amat menyadari, bahwasanya tanpa adanya bantuan dari berbagai pihak sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik dan benar.

Pada kesempatan kali ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak-pihak yang telah membantu, memberikan semangat kepada penulis, antara lain:

1. Bapak Abdul Aziz, S.T.,M.T.,Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Metalurgi, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
2. Ibu Andinnie Juniarsih, ST., MT. selaku Koordinator Skripsi Jurusan Teknik Metalurgi FT Untirta.
3. Ibu Yeni Muriani Zulaida, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing I Skripsi.
4. Bapak Dr. Ir. Kirman M., MT selaku Dosen Pembimbing II Skripsi.
5. Kedua Orang Tua Saya Jajang Saputra Dan Neneng Kartika Candara yang telah membimbing saya, memberi dukungan, memberi motivasi, saran dan do'a selama perkuliahan
6. Rekan-rekan Teknik Metalurgi angkatan 18, Dan Rekan-rekan Seperjuangan Yang Berada Dikontrakan Keserangan

Sekian dari Penulis, semoga tugas akhir skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca, khususnya di bidang penelitian pengelasan.

Cilegon, 25 November 2024

Moch Rozan Waliyyudin

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>LEMBAR JUDUL</b> .....	i
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	ii
<b>LEMBAR PERSETUJUAN</b> .....	iii
<b>LEMBAR PERNYATAAN</b> .....	iv
<b>ABSTRAK</b> .....	v
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	vi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	viii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	4
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Manfaat Penelitian .....	4
1.5 Sistematika Penulisan .....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Tembaga.....	7
2.2 Aluminium .....	9
2.2.1 Aluminium Murni .....	10
2.2.2 Aluminium Paduan .....	11
2.2.3 Aluminium 6063 .....	13

2.3	Pengelasan.....	14
2.4	<i>Friction welding</i> .....	16
2.5	Pengujian Tarik.....	22
2.6	Pengujian Kekerasan.....	23
2.7	Analisa Struktur Mikro.....	24

### **BAB III METODE PENELITIAN**

3.1	Diagram Alir.....	25
3.2	Alat dan Bahan.....	26
3.2.1	Alat-alat.....	26
3.2.2	Bahan-bahan.....	27
3.3	Prosedur Percobaan.....	27
3.3.1	Preparasi sampel.....	27
3.3.2	Proses <i>friction welding</i> .....	28
3.4	Karakterisasi Material.....	29
3.4.1	Pengamatan visual hasil sambungan.....	29
3.4.2	Pengujian tarik.....	29
3.4.3	Pengujian kekerasan.....	31
3.4.4	Pengujian metalografi.....	33
3.5	Karakterisasi awal.....	34

### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

4.1	Hasil pengujian komposisi kimia <i>Base Metal</i> .....	36
4.2	Pengamatan visual hasil lasan <i>friction welding</i> .....	37
4.3	Kekuatan tarik sambungan <i>friction welding</i> .....	42

4.4	Kekerasan hasil <i>friction welding</i> .....	46
4.5	<i>Microstructure friction welding</i> Al-Cu .....	50

## **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1	Kesimpulan .....	56
5.2	Saran.....	57

## **DAFTAR PUSTAKA**

### **DAFTAR LAMPIRAN**

LAMPIRAN A	CONTOH PERHITUNGAN.....	64
LAMPIRAN B	DATA HASIL PENELITIAN .....	67
LAMPIRAN C	GAMBAR ALAT DAN BAHAN .....	78

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 2.1 Sifat Mekanik Logam Tembaga.....	9
Tabel 2.2 Sifat-Sifat fisik aluminium.....	11
Tabel 2.3 Sifat-sifat mekanik Aluminium.....	11
Tabel 2.4 Sifat Mekanik Aluminium .....	14
Tabel 2.5 Komposisi Kimia Aluminium 6063 .....	14
Tabel 3.1 Komposisi Awal Material .....	34
Tabel 3.2 Kekuatan Tarik dasar Material .....	34
Tabel 3.3 Data konversi gaya yang digunakan pada alat <i>friction welding</i> .....	35
Tabel 4.1 Sambungan hasil <i>Friction welding</i> Al-Cu .....	38
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Tarik .....	43

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 2.1 Berbagai proses untuk <i>dissimilar metal welding</i> .....	15
Gambar 2.2 Tampilan skema peralatan <i>friction welding</i> .....	19
Gambar 2.3 Kurva waktu-beban tipikal yang digunakan selama proses <i>friction welding</i> .....	20
Gambar 2.4 Skematis langkah dasar dalam proses <i>friction welding</i> .....	20
Gambar 2.5 Skematis proses <i>friction welding</i> .....	21
Gambar 2.6 Skema peralatan yang digunakan dalam uji tarik .....	23
Gambar 2.7 Pengujian kekerasan dengan metode Vickers .....	24
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian .....	26
Gambar 3.2 Bagan proses <i>friction welding</i> .....	28
Gambar 3.3 Pengujian kekerasan dengan metode Vickers .....	31
Gambar 4.1 Gambar diagram <i>burn off length</i> .....	41
Gambar 4.2 Gambar diagram <i>Flash (mm<sup>3</sup>)</i> .....	41
Gambar 4.3 Gambar grafik hasil uji tarik terhadap <i>friction force</i> .....	43
Gambar 4.4 Gambar grafik hasil uji tarik terhadap <i>rotation Speed</i> .....	44
Gambar 4.5 (a) Grafik hasil uji kekerasan pada parameter kecepatan 2300 rpm (b) Grafik hasil uji kekerasan pada parameter kecepatan 2100 rpm (c) Grafik hasil uji kekerasan pada parameter kecepatan 1900 rpm .....	49
Gambar 4.6 Mikrostruktur sambungan <i>friction welding</i> dengan tekanan <i>friction</i> 18 MPa (a) 2300 rpm (b) 2100 rpm (c) 1900 rpm .....	51

Gambar 4.7 Mikrostruktur sambungan <i>friction welding</i> dengan tekanan <i>friction</i> 31 MPa (a) 2300 rpm (b) 2100 rpm (c) 1900 rpm .....	52
Gambar 4.8 Mikrostruktur sambungan <i>friction welding</i> dengan tekanan <i>friction</i> 42 MPa (a) 2300 rpm (b) 2100 rpm (c) 1900 rpm .....	54
B.1 kekerasan <i>base metal</i> aluminium 6063 .....	68
B.2 Komposisi Material Tembaga .....	69
B.3 Komposisi Material Aluminium 6063 .....	70
B.4 Skema Penyambungan Sampel.....	71
B.5 Data Uji kekerasan .....	71
B.6 Data sebelum uji Tarik .....	72
B.7 Data Sesudah Uji Tarik .....	73
B.8 Data SEM ( <i>scanning electron microscopy</i> ).....	74
Gambar C.1 Bahan Aluminium dan Tembaga .....	78
Gambar C.2 Ampelas .....	78
Gambar C.3 Aquades .....	78
Gambar C.4 Etanol.....	78
Gambar C.5 Gelas beker .....	78
Gambar C.6 Gelas ukur .....	79
Gambar C.7 Gerinda .....	79
Gambar C.8 Kain <i>polish</i> .....	79
Gambar C.9 Mesin <i>grinding</i> .....	79
Gambar C.10 Mesin bubut .....	79
Gambar C.11 Mesin uji kekerasan .....	79

Gambar C.12 Mikroskop <i>optic</i> .....	80
Gambar C.13 Pasta <i>polish</i> .....	80
Gambar C.14 Pipet .....	80
Gambar C.15 Tisu .....	80

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Tembaga merupakan logam lunak yang banyak digunakan sejak dahulu kala karena memiliki kemampuan yang baik, daya tahan korosi, konduktor listrik dan panas yang tinggi, tembaga mempunyai sifat konduktivitas yang tinggi yaitu sebesar  $(59,6 \times 10^6 \text{ S/m})$  dan karena itu tembaga mempunyai sifat termal tertinggi kedua di antara semua logam murni. Tembaga banyak digunakan sebagai material penghantar listrik/kawat listrik.

Aluminium adalah logam yang ringan dengan berat jenis  $2,7 \text{ gram/cm}^3$  setelah magnesium ( $1,7 \text{ gram/cm}^3$ ) dan berilium ( $1,85 \text{ gram/cm}^3$ ) atau sekitar  $1/3$  dari berat jenis besi maupun tembaga. Konduktivitas listrik yang terdapat pada logam aluminium yaitu sebesar  $(37,7 \times 10^6 \text{ S/m})$ . Selain itu juga aluminium memiliki sifat penghantar panas, memiliki sifat pantul sinar yang baik sehingga digunakan pula pada komponen mesin, alat penukar panas, cermin pantul, komponen industri kimia, komponen kelistrikan dll.

Pengelasan merupakan proses penyambungan antar logam dengan memanfaatkan tenaga listrik sebagai sumber panasnya. Ketika permukaan logam menjadi aktif, atom-atom dari logam secara alami melebur dengan atom-atom dari logam lainnya. Jika permukaan logam bersih dan rata, maka ketika logam didekatkan antara satu sama lain atau sampai bersentuhan, kedua logam tersebut bisa tersambung karena tarik-menarik antara atom-atomnya tersebut. Akan tetapi

dalam proses pengelasan dengan material Al-Cu untuk aplikasi kelistrikan terdapat beberapa masalah seperti sambungan yang mudah retak penyebab utama keretakan akibat terjadinya difusi hidrogen pada logam las, yang bisa terikat saat fluks mengisap uap air dari udara, akibatnya logam yang dilas dengan elektroda ini peka terhadap retak, sambungan pada Al-Cu yang mudah putus, dan aliran listrik tidak dapat mengalir sepenuhnya, pengelasan yang biasa digunakan untuk menyambung material Al-Cu adalah pengelasan seperti pengelasan *Resistance Welding* [1], *Arc Welding* [2], [3] dan *Solid State Welding* [3]. Salah satu metode dalam *Solid State Welding* adalah *Friction welding*.

Pengelasan gesek (*friction welding*) merupakan salah satu cara untuk memecahkan beberapa masalah di atas. *Friction welding* adalah penyambungan logam yang terjadi karena adanya panas yang ditimbulkan oleh tekanan atau gaya gesek akibat perputaran logam satu terhadap logam lain yang sesumbu [4] Adapun kelebihan pada metode *friction welding* adalah sebagai berikut, kebersihan pada permukaan sambungan tidak diperlukan dikarenakan selama proses *friction welding* permukaan akan terkelupas dan terdeformasi ke bagian luar, tidak memerlukan logam pengisi, pelindung flux dan gas pelindung selama proses, tidak terdapat cacat akibat fenomena pencairan dan pembekuan, dimungkinkan untuk menyambung dua material logam yang berbeda. Selain itu juga *Friction welding* juga dapat menghemat material dan waktu untuk penyambungan dua material yang sama maupun berbeda [5].

Adapun parameter pada proses *friction welding* meliputi *rotation speed*, waktu gesek, tekanan gesek, *friction pressure* dan jenis benda yang disambung,

menurut penelitian yang telah dilakukan oleh Winiczenko [6] mengatakan bahwa pengaruh *friction pressure* terhadap kekuatan tarik las meningkatkan kekuatan tarik dan seiring meningkatnya *friction pressure*. adapun fenomena yang sama dengan menggunakan logam *mild steel*, karena panas yang dihasilkan di bawah *friction pressure* meningkat maka *friction welding* mirip seperti pada saat pengerjaan perlakuan panas area logam las telah berkurang saat kondisi tempa panas meningkat. Itu bisa meningkatkan fasa *austenite* di zona las oleh karena itu kekuatan tarik ditemukan menurun ketika *upset force* meningkat kemudian kekuatan tarik mulai meningkat terutama karena deformasi yang diinduksi oleh regangan. *friction pressure* dan *rotation speed* berpengaruh terhadap kekuatan tarik. Dengan meningkatnya *friction pressure* dan kecepatan, kekuatan tarik juga meningkat. Namun, awalnya, kekuatan tarik menurun namun dengan meningkatnya *friction pressure* dari 18 MPa dan seterusnya, oleh sebab itu parameter yang digunakan pada penelitian kali ini terdiri dari variabel bebas dan variabel terikat dimana variabel terikat yaitu *friction pressure* dan *rotation speed* dan variabel bebas meliputi alat dan bahan.

Penelitian ini akan mengamati pengaruh *friction pressure* dan *rotation speed* terhadap sifat mekanik pada sambungan Al-Cu dan struktur mikro pada sambungan Al-Cu dengan metode *friction welding*. Salah satu contoh penggunaan sambungan antara Al dan Cu adalah konektor listrik atau sambungan *skun bimetal*, *connecting rod*, dan penangkal petir. Konektor elektrik merupakan suatu komponen elektromekanikal yang berfungsi untuk menghubungkan suatu rangkaian elektronik

ke rangkaian elektronik lainnya ataupun untuk menghubungkan suatu perangkat dengan perangkat lainnya [4]

## **1.2 Rumusan Masalah**

Adapun permasalahan yang diangkat pada penelitian kali ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh variasi *friction pressure* pada proses pengelasan *friction welding* terhadap sifat mekanik material Al-Cu
2. Bagaimana pengaruh variasi *rotation speed* (rpm) pada proses pengelasan *friction welding* terhadap sifat mekanik material Al-Cu
3. Bagaimana pengaruh yang terjadi saat proses *friction welding* terhadap struktur mikro yang terdapat pada hasil las

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan pada penelitian kali ini adalah

1. Untuk menganalisa pengaruh variasi *friction pressure* pada proses pengelasan *friction welding* terhadap sifat mekanik material Al-Cu
2. Untuk menganalisa pengaruh variasi *rotation speed* (rpm) pada proses pengelasan *friction welding* terhadap sifat mekanik material Al-Cu
3. Untuk menganalisa pengaruh *Friction welding* terhadap struktur mikro pada hasil las

## **1.4 Batasan Masalah**

Agar penelitian ini dapat mencapai tujuan yang diinginkan maka Batasan masalah yang diberikan adalah sebagai berikut:

1. Material yang digunakan untuk penelitian adalah Tembaga murni dan aluminium 6063.

2. Sampel yang digunakan berbentuk silinder pejal dengan diameter 12 mm dengan panjang 75 mm.
3. Kontak kedua benda kerja pada saat gesekan dan penempatan dianggap tidak terjadi *misalignment*.
4. Data yang diperlukan dalam penelitian *Friction welding* yaitu data *visualisasi* hasil lasan, uji tarik, uji kekerasan, dan uji struktur mikro.
5. Parameter yang digunakan pada penelitian ini yaitu *Friction pressure* sebesar 18 MPa, 31 MPa, dan 42, MPa dan *rotation speed* di kecepatan 1900 rpm, 2100 rpm, dan 2300 rpm .

### **1.5 Sistematika Penulisan**

Penulisan skripsi ini dibagi menjadi lima bab yang dilengkapi dengan daftar pustaka serta lampiran pendukung. Bab I pendahuluan menjelaskan mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan laporan. Bab II tinjauan pustaka menjelaskan mengenai dasar fundamental teori yang mendukung penelitian ini sebagai acuan dalam analisis dan pengolahan data serta pembahasan. Bab III metodologi penelitian menjelaskan mengenai metode yang dilakukan dalam melaksanakan penelitian ini, prosedur, dan diagram alir. Bab IV hasil dan pembahasan menjelaskan mengenai hasil yang didapat dari penelitian serta analisis lanjut terkait data yang didapatkan. Bab V kesimpulan dan saran menjelaskan mengenai kesimpulan dari hasil yang didapat serta saran-saran untuk perbaikan dan aspek lainnya yang perlu ditingkatkan untuk penelitian selanjutnya. Daftar pustaka memuat mengenai referensi yang digunakan selama penelitian dan menjadi acuan dalam melakukan

penelitian. Lampiran menjelaskan data hasil penelitian dan gambar alat serta bahan yang digunakan merupakan beberapa data sekunder pendukung dalam penelitian dan penulisan laporan penelitian ini.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Tembaga**

Tembaga merupakan logam yang ditemukan sebagai unsur atau berasosiasi dengan tembaga dan perak. Tembaga ini terdapat dalam jumlah yang relatif besar dan ditemukan selama pemisahan dari bijihnya (*coal*) pada elektrolisis dan pemurnian tembaga [7]. Tembaga merupakan logam setelah baja yang banyak digunakan sejak dahulu kala karena memiliki kemampuan di mesin/di kerjakan yang baik, daya tahan korosi, konduktor listrik dan panas yang tinggi. Tembaga banyak digunakan sebagai material penghantar listrik/kawat listrik. Tembaga memiliki daya tahan korosi yang baik di dalam air, dalam tanah maupun dalam air laut, hal ini disebabkan adanya lapisan oksida yang melapisi permukaannya.

Tembaga mineral yang berwarna coklat keabu-abuan dan mempunyai struktur kristal FCC. Tembaga ini mempunyai sifat sifat yang sangat baik yaitu sebagai penghantar listrik dan panas yang baik, mampu tempa, *ductile* dan mudah dibentuk menjadi plat-plat atau kawat. Bijih-bijih tembaga dapat diklasifikasikan atas tiga golongan yaitu bijih sulfida, bijih oksida, dan bijih murni (*native*) [8]

Dari semua logam biasa, tembaga memiliki peringkat tertinggi untuk konduktivitas listriknya dan mempunyai konduktivitas termal yang sangat baik ditambah dengan kekuatan intrinsik, seperti pada tegangan luluh (*Yield strength*) sekitar 210-300 MPa, kekuatan tarik (*ultimate tensile strength*) sekitar 210-380 MPa dan kekerasan (*hardness*) sekitar 45-100 Vickers (HV).

Kemampuan bentuk dan ketahanan korosi membuat paduan tembaga unik sebagai konduktor listrik – menjadikannya ideal untuk konektor dan produk listrik/elektronik lainnya. Tembaga adalah logam yang relatif lunak dan mudah dibentuk dengan sifat mampu bentuk yang sangat baik, membuatnya ideal untuk aplikasi arsitektural seperti atap, kelongsong dinding, talang air, dan *downspouts*. Penambahan elemen lain ke tembaga memperkuatnya dan membentuk paduan tembaga, termasuk kuningan, perunggu fosfor, dan nikel tembaga. Paduan tembaga memiliki *tensile strength* yang melebihi beberapa paduan aluminium dan mendekati baja tahan karat, dan dapat digunakan dalam banyak aplikasi. Pengurangan ukuran dari perangkat dan komponen elektronik mendapat manfaat dari kekuatan tinggi dan konduktivitas sedang hingga tinggi yang ditawarkan oleh paduan tembaga khusus [9]

Tembaga (Cu) dapat difungsikan sebagai penghantar listrik. Bagian dalam kabel yang berwarna emas atau agak mengkilap itulah yang disebut tembaga. Selain penghantar listrik, tembaga juga penghantar panas yang baik. Beberapa peralatan rumah tangga terbuat dari campuran besi dan tembaga sehingga menghasilkan kombinasi yang baik. Manfaat tembaga dalam kehidupan sehari-hari memang terpusat pada hal yang panas dan listrik karena manfaat tembaga sangat besar dalam hal ini [10].

Tembaga adalah bahan metalurgi sederhana, mengandung fasa alfa kubik berpusat muka tunggal. Sejumlah kecil oksida mungkin ada dalam keadaan terdeoksidasi. Tembaga mengeras pada suhu 1981°F (1083°C), tetapi biasanya terjadi undercooling. Pembekuan dimulai sebagai zona dingin tipis pada dinding

cetakan, kemudian mengikuti isoterm titik beku ke dalam hingga seluruh benda menjadi padat. Struktur cor menunjukkan struktur butiran berbentuk kolom yang berorientasi tegak lurus terhadap bagian depan pepadatan. Rongga penyusutan garis tengah dapat terbentuk di "titik panas" yang terisolasi, ini harus diperhitungkan saat menyiapkan desain pengecoran [11] berikut adalah sifat mekanik logam tembaga seperti yang tertera pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1** Sifat mekanik logam tembaga [12]

<b>Sifat</b>	<b>Nilai</b>
<b>Simbol Kimia</b>	Cu
<b>Nomor Atom</b>	29
<b>Berat Atom</b>	63,54 g/mol
<b>Densitas</b>	89600 kg m <sup>-3</sup>
<b>Titik Lebur</b>	1356 K
<b>Panas Spesifik cp (293K)</b>	0,383 kJ kg <sup>-3</sup> K <sup>-3</sup>
<b>Konduktivitas Termal</b>	394 W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>
<b>Koefisien Ekspansi linear</b>	16,5 x 10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>
<b>Elastisitas Modulus Young</b>	110 x 10 <sup>9</sup> K <sup>-2</sup>
<b>Konduktivitas Elektrik</b>	1,673 x 10 <sup>-8</sup> ohm-m
<b>Struktur Kristal</b>	<i>Face Centered Cubic (FCC)</i>

## 2.2 Aluminium

Aluminium adalah logam yang ringan dengan berat jenis 2,7 gram/cm<sup>3</sup> setelah magnesium (1,7 gram/cm<sup>3</sup>) dan berilium (1,85 gram/cm<sup>3</sup>) atau sekitar 1/3 dari berat jenis besi maupun tembaga. Konduktivitas listrik yang terdapat pada logam aluminium yaitu sebesar (37,7x10<sup>6</sup> S/m). Selain itu juga aluminium memiliki sifat penghantar panas, memiliki sifat pantul sinar yang baik sehingga digunakan

pula pada komponen mesin, alat penukar panas, cermin pantul, komponen industri kimia, komponen kelistrikan dll.

Aluminium tidak muncul sebagai unsur asli, tetapi ditemukan sebagai campuran dilebih dari 200 mineral kristal tunggal. Secara berurutan, oksigen, silikon, dan aluminium adalah tiga unsur paling melimpah di dunia, dan oksida  $\text{SiO}_2$  dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  adalah yang paling stabil dalam kondisi atmosfer normal. Mineral bauksit,  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  terhidrasi aluminium oksida merupakan bijih utama. Hal ini paling sering ditemukan dalam endapan seperti tanah liat yang disebut laterit sebagai campuran dengan tanah liat dan oksida besi, dan mungkin mengandung aluminium oksida dalam jumlah besar [13].

Logam aluminium murni adalah yang kedua setelah emas dalam hal kelenturan, keenam dalam keuletan, dan salah satu logam terlembut (H 2-3); sedangkan korundum adalah yang kedua setelah berlian dalam kekerasan (H dan 10, masing-masing, pada Skala kekerasan Mohs). Logam ini berwarna perak-putih dan, karena sangat elektropositif, bila bersentuhan dengan logam lain, akan menimbulkan korosi dengan cepat. Logam ini memiliki sekitar 60% dari daya dukung listrik dan telah digunakan untuk saluran transmisi daya tinggi karena jauh lebih ringan daripada tembaga. Ini juga telah digunakan dalam bentuk kawat yang lebih halus untuk listrik dan penerangan rumah saat ini, tetapi kawat cenderung teroksidasi seiring waktu [14]

### **2.2.1 Aluminium murni**

Al didapat dalam keadaan cair dengan elektrolisa, umumnya mencapai kemurnian 99,85% berat. Dengan mengelektrolisa kembali dapat

dicapai kemurnian 99,99% yaitu dicapai bahan dengan angka sembilannya empat [14]. Seperti yang tertera pada Tabel 2.2 sifat-sifat fisik aluminium dan Tabel 2.3 sifat-sifat mekanik aluminium.

**Tabel 2.2** Sifat-Sifat fisik aluminium [14]

Sifat sifat	Kemurnian Al(%)	
	99,996	>99,0
Masa jenis (20 <sup>0</sup> C)	2,6989	2,71
Titik Cair	660,2	653-657
Panas jenis (Cal/g. <sup>0</sup> C) (100 <sup>0</sup> )	0,2226	59(dianil)
Tahan listrik koefisien temperatur ( <sup>0</sup> C)	0,00429	`0,0115
Koefisien pemuaian (20-100 <sup>0</sup> C)	23,86 x 10 <sup>-6</sup>	23,5 x 10 <sup>-6</sup>
Jenis kristal, konstanta kisi	<i>Fcc</i> , a=4,013 kX	<i>Fcc</i> , a=4,04 kX

**Tabel 2.3** Sifat-sifat mekanik Aluminium [14]

Sifat-sifat	Kemurnian			
	99,996		>99,0	
	Dianil	75% dirol dingin	Dianil	H18
Kekuatan tarik	4,9	11,6	9,3	16,9
Kekuatan mulur	1,3	11,0	3,5	14,8
Perpanjangan	48,8	5,5	35	5
Kekerasan brinel	17	27	23	44

### 2.2.2 Aluminium paduan

Aluminium secara umum dapat diklasifikasikan menjadi dua yaitu *heat treatable* dan *non heat treatable*. Pada paduan *non heat treatable* dapat diperkuat dengan perlakuan dingin, dan perlakuan panas yang dapat dilakukan adalah *annealing* dan *quenching* untuk memperlunak akibat dari

proses pengerasan. Paduan ini terdiri dari Al-Mn, Al-Mg, dan Al-Si. Sedangkan pada paduan *heat treable* adalah paduan yang mengandung Cu, Zn, dan Mg serta Si. Paduan *heat treable* dapat diperkuat dengan memberikan perlakuan pengerasan penuaan, pengerasan presipitasi dan proses perlakuan panas lainnya [14]

Aluminium merupakan mineral yang berwarna putih kebiru-biruan, lebih keras dari timah putih, tetapi lebih lunak daripada seng (Zn). Aluminium mempunyai kekuatan tarik 10kg/mm, dan untuk memperbaiki sifat mekanis dari bahan logam aluminium, bahan aluminium ditambah unsur paduan [15]

Adapun unsur tambahan atau unsur paduan pada logam aluminium yaitu[15]

- 1) Besi (Fe) : Penambahan unsur besi pada logam aluminium dapat mengurangi terjadinya keretakan panas
- 2) Manganase (Mn) : Penambahan unsur Mn pada aluminium dapat memperbaiki sifat keuletan pada logam
- 3) Silicon (Si) : Silicon yang ditambahkan pada logam aluminium akan mempengaruhi ketahanan pada sifat korosi logam sehingga tahan lama tetapi logam akan sulit di machining

- 4) Copper (Cu) : Copper yang ditambahkan pada logam aluminium akan mudah untuk di machining
- 5) Magnesium (Mg) : Penambahan unsur magnesium pada logam aluminium dapat mempengaruhi sifat kekuatan pada logam
- 6) Zinc (Zn) : Unsur seng yang di tambahkan kedalam logam aluminium akan mempunyai sifat tahan terhadap korosi dan mengurangi terjadinya keretakan panas dan pengerutan

### 2.2.3 Aluminium 6063

Paduan Al-6xxx telah menjadi subyek banyak penelitian. Diketahui bahwa komponen utama paduan Al seri 6xxx yang dapat diberi perlakuan panas adalah Mg dan Si, dan 6xxx memperoleh kekuatannya dari fase pengerasan presipitasi. Fraksi volume Mg<sub>2</sub>Si dipengaruhi terutama melalui tingkat Mg dalam paduan, tetapi kandungan Si juga penting dapat disimpulkan bahwa peningkatan Si pada paduan tipe 6xxx meningkatkan kekuatan pada temper T4 dan T6. Penambahan tembaga ke paduan Al-Mg-Si tidak hanya mengubah urutan pengendapan tetapi juga meningkatkan kekerasan dan menyempurnakan antarmuka struktur mikro. Selain Mg-Si-Cu, mangan dan kromium juga digunakan sebagai unsur paduan. [16]

Sifat mekanik yang dimiliki dari Aluminium tipe 6063 seperti yang tertera pada Tabel 2.4 [2].

**Tabel 2.4** Sifat Mekanik Aluminium 6063

Sifat Mekanik	Nilai
Densitas pada 20°C	2,7 kg/m <sup>3</sup>
Konduktivitas minimal pada 20°C	209 W/m.K
Koefisien resistansi pada 20°C	0,33 x 10 <sup>-6</sup> Ω.m
Kekerasan <i>Brinnell</i>	75 HB
<i>Tensile strength</i>	195 MPa
<i>Melting point</i>	655°C
<i>Thermal Expansion</i>	23,5 x 10 <sup>-6</sup> /K
Modulus Elastisitas	69,5 GPa

Sedangkan Komposisi kimia dari Aluminium Tipe 6063 adalah sebagai berikut tertera pada Tabel 2.5

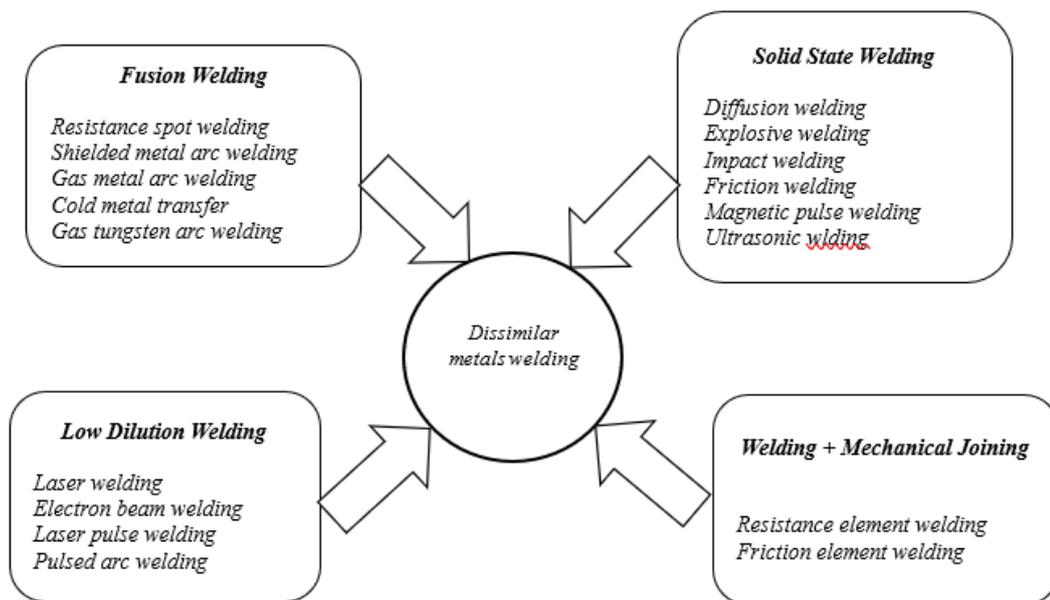
**Tabel 2.5** Komposisi Kimia Aluminium 6063

Unsur	Komposisi (%)
Tembaga	0.1
Besi	0.35
Silika	0.2-0.6
Mangan	0.1
Magnesium	0.45-0.9
Zinc	0.1
Kromium	0.1
Boron	0.06
Aluminium	98

### 2.3 Pengelasan

Dalam *dissimilar welding*, kelarutan padat bersama dan pembentukan intermetalik secara signifikan dipengaruhi oleh proses pengelasan. Pembentukan zona intermetalik yang lemah dan rapuh adalah kelemahan utama. Zona intermetalik yang terbentuk pada pengelasan logam yang berbeda sangat rentan

terhadap retakan dan korosi Siklus termal dari proses pengelasan mengubah sifat zona las dan logam dasar yang berdekatan Perbedaan sifat termal logam berbeda menginduksi tegangan termal dan membentuk rongga dan retakan . Selain itu, lasan logam yang berbeda membentuk pasangan galvanik dan dapat memulai korosi galvanik di lingkungan yang agresif. Terbentuknya lapisan intermetalik compound (IMCs) yang tebal pada lasan logam yang berbeda dapat meningkatkan kemungkinan terbentuknya retakan dan laju korosi. [17] .



**Gambar 2.1** Berbagai proses untuk dissimilar metal welding [17]

Berbagai proses pengelasan seperti yang tertera pada Gambar 2.1 di atas untuk paduan baja-Al, paduan Al-Mg dan paduan baja-Mg dapat diklasifikasikan secara luas sebagai pengelasan fusi dan pengelasan keadaan padat. Dalam pengelasan fusi, permukaan *faying* dari logam dasar bersama dengan logam pengisi atau tanpa logam pengisi dilebur untuk membentuk las. Di sisi lain, ketika logam

dasar dipanaskan sampai suhu tinggi kurang dari titik leleh dan tekanan diterapkan untuk membentuk lasan, ini disebut pengelasan solid-state. Pengelasan pengenceran rendah juga merupakan salah satu jenis pengelasan fusi. Ini dapat diklasifikasikan sebagai peleburan logam dasar yang relatif lebih sedikit selama pengelasan [17]

Pengelasan *Solid State* adalah proses pengelasan, di mana dua benda kerja digabungkan di bawah tekanan yang memberikan kontak yang erat di antara mereka dan pada suhu yang pada dasarnya di bawah titik leleh bahan induk salah satu contoh pengelasan *solid State* adalah *friction welding* yang dimana penggabungan dicapai dengan panas gesekan yang dikombinasikan dengan tekanan. panas dihasilkan oleh gesekan antara dua permukaan komponen, biasanya dengan rotasi satu bagian relatif terhadap bagian lainnya. kemudian bagian-bagian tersebut digerakkan ke arah satu sama lain dengan kekuatan yang cukup untuk membentuk ikatan mesin yang digunakan untuk *friction welding* terlihat seperti mesin bubut. Mereka membutuhkan *spindel* bertenaga untuk memutar satu bagian dengan kecepatan tinggi dan sarana untuk menerapkan gaya aksial antara bagian yang berputar dan bagian yang tidak berputar [18]

#### **2.4 *Friction welding***

*Friction welding* adalah penyambungan logam yang terjadi karena adanya panas yang ditimbulkan oleh tekanan atau gaya gesek akibat perputaran logam satu terhadap logam lain yang sesumbu [19].

*Friction welding* diklasifikasikan sebagai proses pengelasan keadaan padat, di mana penyambungan terjadi pada suhu di bawah titik leleh logam kerja. Panas

dihasilkan oleh konversi langsung energi mekanik menjadi energi panas pada antarmuka benda kerja selama proses pengelasan. *Friction welding* dibuat dengan menahan benda kerja yang tidak berputar bersentuhan dengan benda kerja yang berputar di bawah tekanan yang meningkat secara bertahap hingga antarmuka mencapai suhu pengelasan, dan kemudian menghentikan rotasi untuk menyelesaikan pengelasan. Ketika mengelas logam yang berbeda dengan *Friction welding*, masalah muncul tidak hanya dari perbedaan kekerasan dan titik leleh material, tetapi juga dari kemungkinan interaksi yang menghasilkan fase intermetalik yang rapuh atau eutektik titik leleh yang rendah [20]

*Friction welding* termasuk *solid state welding* yaitu pengelasan tanpa pencairan logam dasar dan tanpa bahan tambah. Proses *Friction welding* memanfaatkan panas akibat gesekan dua permukaan yang akan disambung. Panas pada gesekan akan mengubah material padat menjadi semisolid atau plastis. Mekanisme penyambungan terjadi oleh pencampuran logam luluh antar permukaan dan difusi. Dengan pemberian tekanan yang cukup proses penyambungan akan lebih baik. *Friction welding* dapat melakukan penyambungan benda pejal dengan kontak secara keseluruhan, karena prosesnya melalui gesekan *interface* [5].

*Friction welding* mempunyai banyak kelebihan dibandingkan dengan proses pengelasan lainnya, Adapun kelebihanannya adalah sebagai berikut, Kebersihan permukaan sambungan tidak diperlukan, karena selama proses *friction welding* permukaan akan terkelupas dan terdeformasi ke bagian luar, tidak memerlukan logam pengisi, pelindung flux dan gas pelindung selama proses, tidak terdapat cacat akibat fenomena pencairan dan pembekuan, dimungkinkan untuk

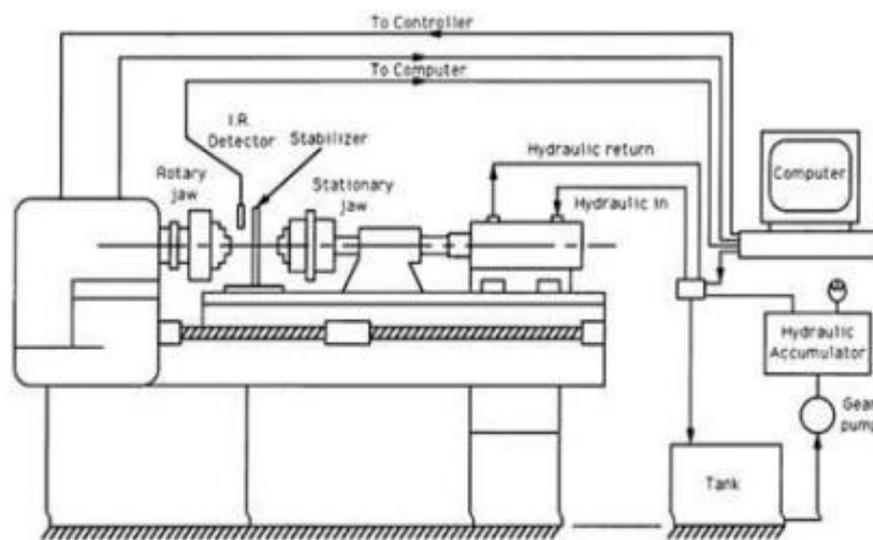
menyambung dua material logam yang berbeda, dan Ongkos pengerjaan lebih ringan [5].

Sejak diperkenalkannya *friction welding* selama perang Dunia Kedua, ini adalah yang paling populer dari semua proses *friction welding* yang telah digunakan secara luas untuk menyambung bahan struktural yang simetris secara rotasi. ini dibagi menjadi dua variasi proses utama, tergantung pada cara energi rotasi diubah menjadi panas gesekan. yang pertama adalah *direct drive* atau *continuous drive friction welding*. yang kedua adalah *friction welding* inersia. Studi kami saat ini berkaitan dengan pengembangan dan validasi eksperimental teknik *friction welding* drive berkelanjutan secara umum, RFW terdiri dari dua fase: fase gesekan di mana material dipanaskan dan gangguan yang diperlukan terbentuk, dan fase penempaan untuk mengkonsolidasikan lasan. Karena cara input energi yang berbeda, *inertia friction welding* (IFW) dapat memenuhi spesifikasi energi input yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan *Continuous Drive Friction Welding* (CDFW), dan untuk alasan ini pabrikan mesin aero menggunakan *inertia friction welding* (IFW) dan *Continous Drive Friction Welding* (CDFW) industri otomotif. Parameter operasi tukang *Friction welding* meliputi kecepatan rotasi, tekanan gesekan, waktu gesekan, tekanan penempaan, laju umpan, waktu tunda rem, waktu tunda gangguan, dan waktu menjengkelkan. Parameter operasi dapat dikontrol oleh komputer untuk kualitas produk akhir yang diinginkan [21].

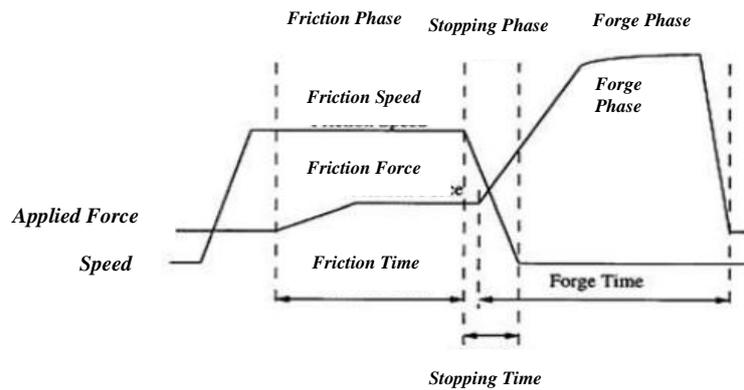
*Rotary friction welding* merupakan pengelasan yang terjadi bila salah satu benda diputar, dan benda lainnya diam. Kedua benda tersebut dipertemukan dalam kondisi salah satu benda berputar dan lainnya diam pada kondisi ini merupakan

awal proses pengelasan sampai terbentuk “*flash* (mm<sup>3</sup>)”. Kemudian putaran benda dihentikan tetapi beban penekanan ditingkatkan, sehingga terjadi pembebanan kejut “*forging*” bila pembebanan ini telah dilakukan selama waktu tertentu, maka proses *Friction welding* terjadi.

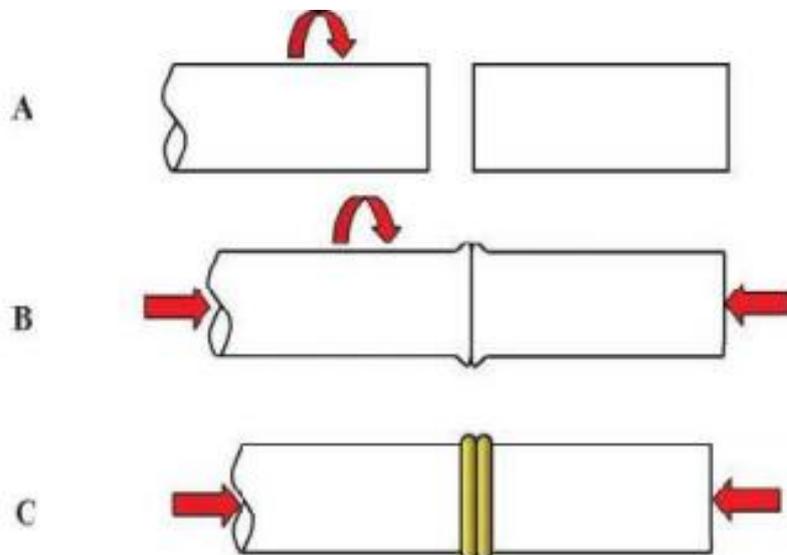
Proses *Friction welding* dengan peralatan, yang mudah dibuat. Gambaran skematis dari alat *friction welding* yang khas ditunjukkan pada Gambar 2.2 di bawah, Seorang *welder* dapat mengoperasikan alat *Friction welding* pada kondisi beban yang diterapkan berbeda, yang bergantung pada ukuran bagian dan bahan bagian. Beban tipikal maksimum untuk bagian logam adalah sekitar 120 kN. Pada umumnya motor tukang las memiliki kecepatan variabel yang dapat dikendalikan oleh komputer. Kecepatan tipikal tukang las untuk bagian logam adalah sekitar 3500 rpm, variabel-variabel pada *Friction welding* dapat dilihat pada Gambar 2.3.



**Gambar 2.2** Tampilan skema peralatan *friction welding* [21]



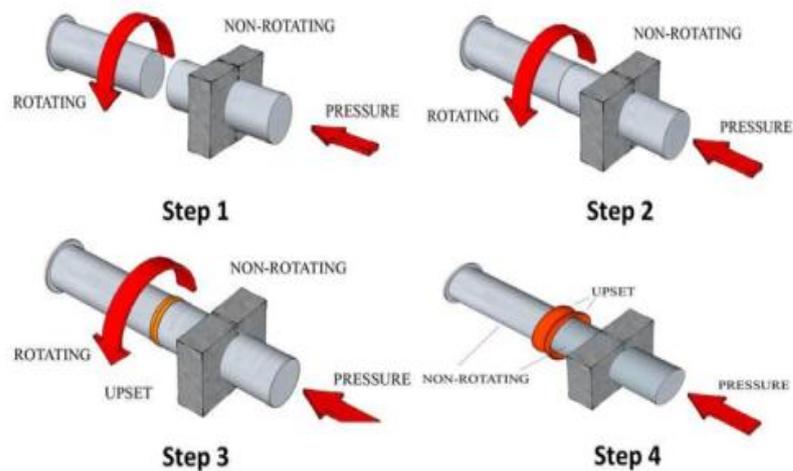
**Gambar 2.3** Kurva waktu-beban tipikal yang digunakan selama proses *friction welding* [21]



**Gambar 2.4** Skematis langkah dasar dalam proses *friction welding* [22]

*Friction welding* proses penyambungan logamnya tanpa pencairan, yang mana proses penyambungan terjadi akibat penggabungan laju putaran salah satu benda kerja dengan ujung benda kerja lainnya yang diberi tekanan dan akan menghasilkan panas yang akan melumerkan kedua permukaan yang bergesekan seperti pada Gambar 2.4 diatas. *Rotation speed*, durasi gesek dan tekanan merupakan variabel yang sangat penting dalam *friction welding* karena variabel tersebut akan menentukan kualitas dan hasil pengelasan [19].

Pada *friction welding* terjadi beberapa fenomena fisik, seperti perubahan panas akibat gesekan, *deformasi plastis*, *solidifikasi*, perubahan struktur dan sebagainya. Adapun parameter penting dalam proses *friction welding* meliputi *friction time*, *rotation speed* dan *friction pressure* seperti yang dijelaskan dalam Gambar 2.5 di bawah [23].



**Gambar 2.5** Skematis proses *friction welding* [24]

Tembaga merupakan salah satu logam penting sebagai bahan Teknik yang pemakaiannya sangat luas baik digunakan dalam keadaan murni maupun dalam bentuk paduan. Tembaga memiliki kekuatan tarik  $150 \text{ N/mm}^2$  sebagai Tembaga Cor dan dengan proses pengerjaan dingin kekuatan tarik Tembaga dapat ditingkatkan hingga  $390 \text{ N/mm}^2$  demikian pula dengan angka kekerasannya dimana Tembaga Cor memiliki angka kekerasan 45 HB dan meningkat hingga 90 HB melalui proses pengerjaan dingin, dengan demikian juga akan diperoleh sifat Tembaga yang ulet serta dapat dipertahankan walaupun dilakukan proses perlakuan panas misalnya dengan Tempering. Sifat listrik dan sebagai penghantar panas yang

baik dari Tembaga (*Electrical and Thermal Conductor*) Tembaga dan menduduki urutan kedua setelah Silver namun untuk ini Tembaga dipersyaratkan memiliki kemurnian hingga 99,9 %.

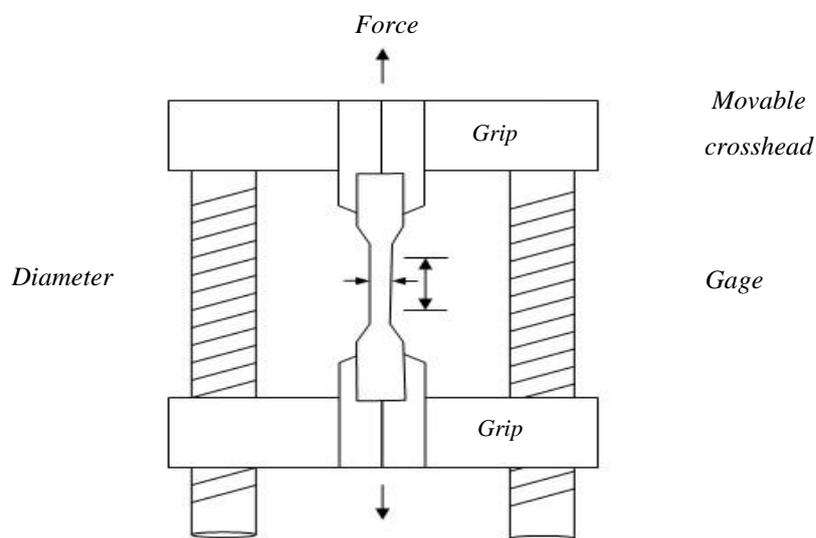
## **2.5 Pengujian Tarik**

Uji tarik adalah pemberian gaya atau tegangan tarik kepada material dengan maksud untuk mengetahui atau mendeteksi kekuatan dari suatu material. Tegangan tarik yang digunakan adalah tegangan aktual eksternal atau perpanjangan sumbu benda uji. Uji tarik dilakukan dengan cara penarikan uji dengan gaya tarik secara terus menerus, sehingga bahan (perpanjangannya) terus menerus meningkat dan teratur sampai putus, dengan tujuan menentukan nilai tarik. Untuk mengetahui kekuatan tarik suatu bahan dalam pembebanan tarik, garis gaya harus berhimpit dengan garis sumbu bahan sehingga pembebanan terjadi beban tarik lurus. Tetapi jika gaya tarik sudut berhimpit maka yang terjadi adalah gaya lentur [25]

Kekuatan merupakan sifat yang dimiliki oleh setiap material. Kekuatan pada material dibagi menjadi dua bagian yaitu kekuatan tarik dan kekuatan mulur. Kekuatan material bias diperoleh dari sebuah pengujian yang dikenal dengan nama uji tarik. Dari pengujian itu selain diperoleh Sampel kerja yang putus karena proses penarikan, juga dihasilkan sebuah kurva uji tarik. Kurva ini merupakan gambaran dari proses pembebanan pada Sampel kerja mulai dari awal penarikan hingga Sampel kerja itu putus. [26]

Dilihat pada Gambar 2.6 di bawah ada beberapa komponen yang terdapat pada mesin uji tarik, komponen utama tersebut terdiri dari pencatat gaya (*load cell*), alat pencatat pertambahan Panjang material Sampel (*extensometer*), batang penarik

(*moving crosshead*), dan sampel. *Load cell* digunakan untuk mencatat besarnya pembebanan ( $F$ ) yang dialami oleh Sampel, sedangkan *extensometer* digunakan untuk mencatat besarnya pertambahan panjang material ( $\Delta L$ ) yang terjadi pada Sampel. Hubungan antara gaya ( $F$ ) terhadap pertam material panjang ( $\Delta L$ ) inilah yang nantinya akan dikonversikan ke dalam kurva tegangan ( $\sigma$ ) terhadap regangan teknik ( $\epsilon$ ) [26]

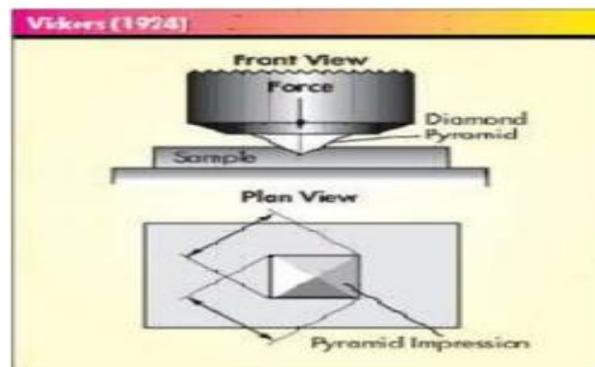


**Gambar 2.6** Skema peralatan yang digunakan dalam uji tarik [26]

## 2.6 Pengujian kekerasan

Kekerasan (*Hardness*) yaitu kemampuan material logam dalam menerima gaya berupa penetrasi dan kekuatan (*Strength*) yaitu kemampuan material logam dalam menerima gaya berupa tegangan tanpa mengalami patah, kekuatan dan kekerasan juga ketahanan terhadap beban. Dalam material dan paduannya sifat-sifat mekanik sangat dipengaruhi oleh struktur mikro dan jenis-jenis material serta asal-usulnya [27]

Pengujian kekerasan menggunakan metode *vickers* bertujuan untuk menentukan kekerasan intan yang cukup kecil dan mempunyai bentuk geometri berbentuk piramida. Nilai keras *vickers* adalah hasil bagi antara beban tekan statis maksimum dengan luas bidang penetrator seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.7 dibawah [28]



**Gambar 2.7** Pengujian kekerasan dengan metode *vickers*[28]

## 2.7 Analisa Struktur Mikro

Untuk mengetahui bentuk struktur mikro hasil pengelasan *Friction welding* dilakukan Analisa struktur mikro dengan menggunakan *Optical Microscope* dan menggunakan standar uji ASTM E3 dengan tahapan sebagai berikut :

- 1) Menyiapkan Sampel
- 2) Mengamplas Sampel hingga tidak terlihat goresan
- 3) Melakukan *polish* pada Sampel hingga mengkilap
- 4) Melakukan etsa terhadap Sampel dengan menggunakan larutan 3 ml HF dan 100 ml aquades untuk bagian aluminium, dan 1 gr  $\text{FeNO}_3$  dan 100 ml aquades untuk bagian tembaga
- 5) Menyiapkan alat uji foto mikro
- 6) Merekam data yang tampil pada alat foto mikro

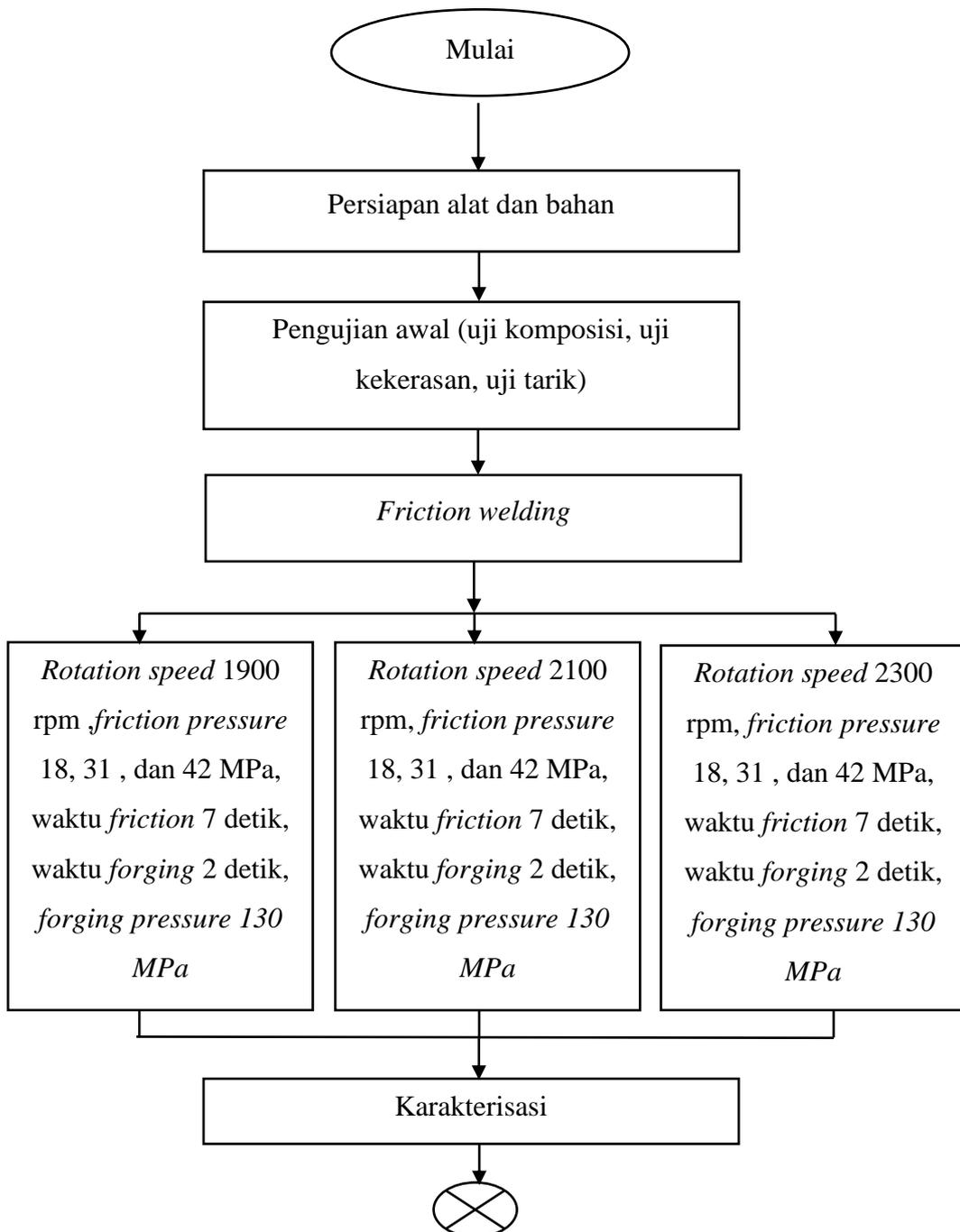
# BAB III

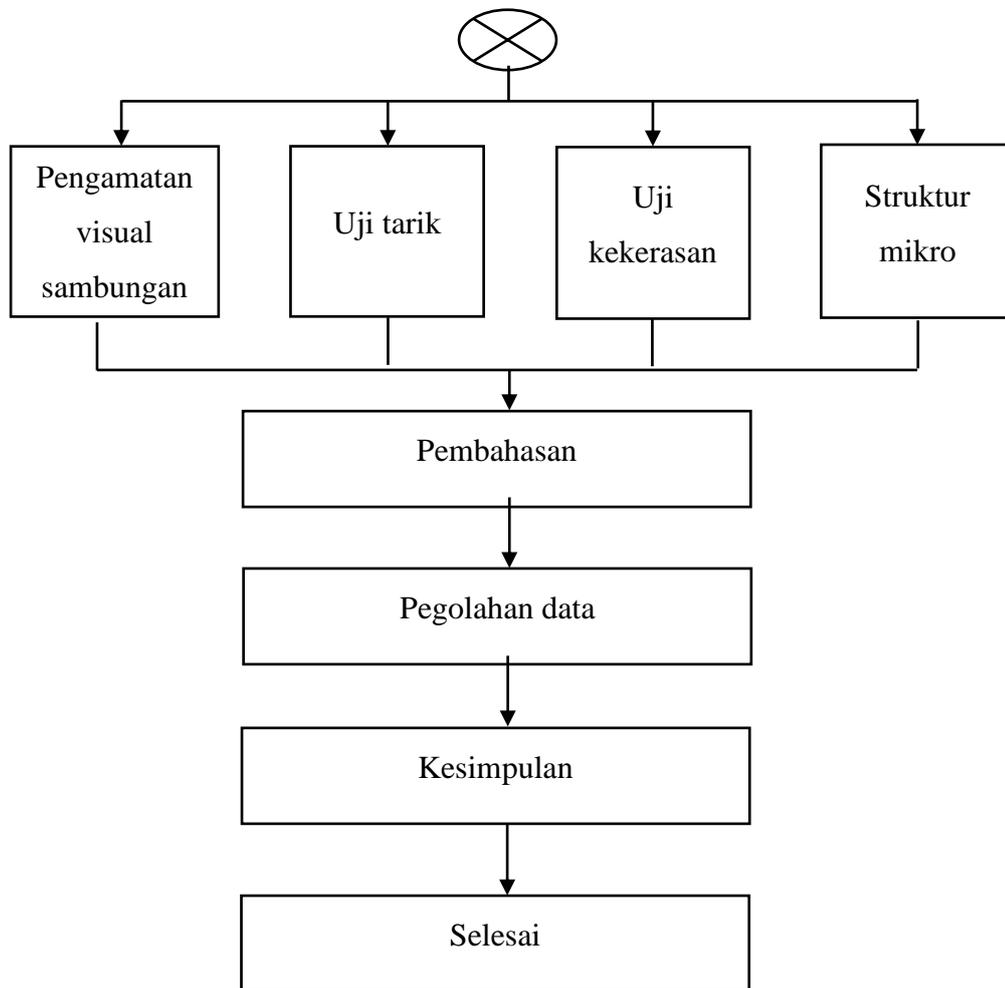
## METODE PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir

Berikut ini adalah diagram alir penelitian yang dapat dilihat pada gambar

3.1 di bawah ini





**Gambar 3.1** Diagram alir penelitian

## 3.2 Alat dan Bahan

### 3.2.1 Alat-Alat

Berikut adalah alat-alat yang digunakan dalam proses penelitian berlangsung yaitu

- 1) Mesin Bubut *Celtic*
- 2) *Drill Chuck*
- 3) *Load cell*
- 4) Gerinda tangan

- 5) Gerinda duduk
- 6) Ragum
- 7) *Thermometer gun*
- 8) Jangka Sorong
- 9) Mesin Uji Tarik
- 10) Mesin Uji Kekerasan
- 11) Mesin uji *bending*
- 12) Tachometer Digital
- 13) Alat uji *Optical microscope*
- 14) Cetakan resin

### **3.2.2 Bahan-bahan**

- 1) Aluminium
- 2) Tembaga
- 3) Ampelas
- 4) Resin
- 5) Katalis
- 6) Kain *polish*
- 7) Larutan etsa
- 8) *Cotton bud*

## **3.3 Prosedur Percobaan**

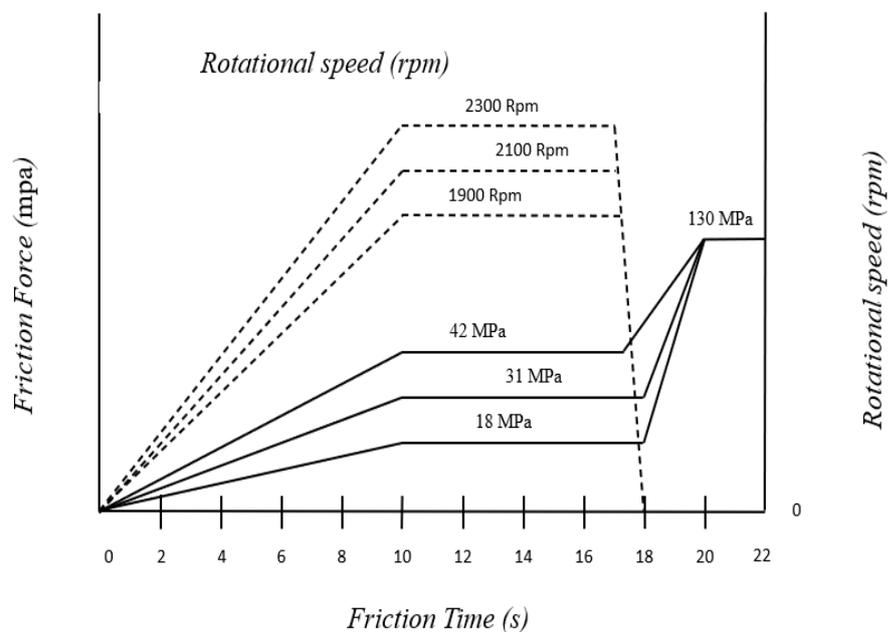
### **3.3.1 Preparasi sampel**

- 1) Dilakukan pemotongan tembaga dan aluminium dengan diameter 15 mm dan Panjang sebesar 75 mm

- 2) Dilakukan pengurangan dimensi dari 15 mm menjadi 12 mm
- 3) Dilakukan perataan di permukaan kontak pada Sampel agar mempermudah proses *friction welding*
- 4) sampel dilakukan pengujian awal yaitu pengujian komposisi, pengujian kekerasan, dan pengujian keuletan

### 3.3.2 Proses *friction welding*

- 1) Sampel dilakukan proses *friction welding* dengan *rotation speed* 1900 rpm, 2100 rpm dan 2300 rpm dengan *Friction pressure* sebesar 18, 31, dan 42 MPa selama 7 detik. Selanjutnya putaran diberhentikan dengan diberi tempa (*forging pressure*) 130 Mpa, seperti yang tertera pada Gambar 3.2.



**Gambar 3.2** Bagan proses *friction welding*

### **3.4 Karakterisasi Material**

Adapun pengujian material yang dilakukan pada pengujian kali ini adalah sebagai berikut

- 1) Sampel dilakukan proses karakterisasi mekanik menggunakan *spectro analyse* PMI-Master Pro
- 2) Karakterisasi yang dilakukan pada penelitian kali ini adalah uji tarik, kemudian uji kekerasan, dan analisa struktur mikro

#### **3.4.1 Pengamatan visual hasil sambungan**

Pengamatan visual hasil sambungan dapat dilihat setelah proses *friction welding* selesai dilakukan, pada proses ini hasil yang diinginkan adalah terbentuknya *burn-off length* ( $\text{mm}^3$ ) dan *flash* ( $\text{mm}^3$ ) sesuai dengan yang tertera pada sub bab 2.4 di atas, kemudian selain *burn-off length* dan *flash* ( $\text{mm}^3$ ) hasil dari pengamatan visual yang diinginkan yaitu bentuk sambungan dan permukaan kontak yang stabil mengikuti parameter yang telah ditentukan lalu mendapati bagian aluminium yang menempel total pada bagian tembaga.

#### **3.4.2 Pengujian tarik**

Pengujian tarik adalah pemberian suatu gaya atau tegangan tarik kepada material dengan maksud untuk mengetahui atau mendeteksi kekuatan dari suatu material. Tegangan tarik dilakukan dengan cara penarikan uji dengan gaya tarik secara terus menerus sehingga bahan (perpanjangannya) terus menerus meningkat dan teratur sampai putus dengan tujuan menentukan nilai tarik dengan menggunakan standar, lalu

data yang diinginkan pada pengujian tarik ini merupakan data kekuatan dari material tersebut menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\sigma = \frac{F}{A} \dots\dots\dots(3.1)$$

Ket:

- $\sigma$  : Tegangan (N/mm<sup>2</sup> atau Pa)
- F : Gaya tarik yang diterapkan (N)
- A : Luas penampang awal(mm<sup>2</sup>)

Selain dari data kekuatan pengujian tarik ini menginginkan data efisiensi (%) dari hasil pengujian, efisiensi merupakan ketepatan cara dalam menjalankan suatu pekerjaan tanpa membuang waktu, tenaga, atau material yang digunakan, dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$e\% = \frac{\sigma_1}{\sigma_0} \dots\dots\dots(3.2)$$

Ket:

- $\sigma_1$  : Data hasil uji tarik
- $\sigma_0$  : Data base metal uji tarik

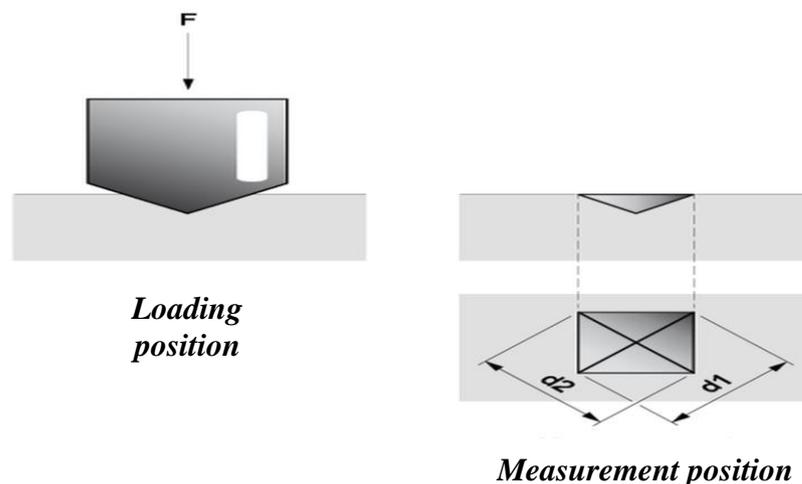
Adapun langkah-langkah dalam melakukan pengujian tarik adalah sebagai berikut:

- 1) Persiapan alat dan bahan meliputi mesin uji tarik dan sampel uji tarik
- 2) Sampel diletakan pada pencekam
- 3) Operasikan mesin uji tarik dan catat diameter sampel uji setiap penambahan panjang

- 4) Catat beban yang diterima sampel uji tarik yang mengakibatkan sampel uji tarik mengalami pengecilan diameter (*necking*)
- 5) Keluarkan sampel uji tarik dari mesin uji tarik
- 6) Ukur panjang sampel uji tarik setelah pengujian
- 7) Ukur diameter sampel uji pada bagian yang terjadi (*necking*)

### 3.4.3 Pengujian kekerasan

Kekerasan (*hardness*) yaitu kemampuan material logam dalam menerima gaya berupa penetrasi dan kekuatan (*strength*) yaitu kemampuan material logam dalam menerima gaya berupa tegangan tanpa mengalami patah, kekuatan dan kekerasan juga ketahanan terhadap beban. Dalam material dan paduannya sifat-sifat mekanik sangat dipengaruhi oleh struktur mikro dan jenis-jenis material serta asal-usulnya [27]



**Gambar 3.3** Pengujian kekerasan dengan metode *micro vickers* [28]

Pengujian kekerasan menggunakan metode *vickers* bertujuan untuk menentukan kekerasan suatu material dalam yaitu daya tahan material

terhadap indentor intan yang cukup kecil dan mempunyai bentuk geometri berbentuk piramida nilai keras *Vickers* adalah hasil bagi antara beban tekan statis maksimum dengan luas bidang penetrator seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3.3 [28] dan menggunakan standar pengujian ASTM E92, lalu untuk hasil kekerasan didapat dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$HV = \frac{1,854 \times P}{d^2} \dots\dots\dots(3.3)$$

Ket:

P : beban indentasi (kgf)

d<sup>2</sup> : rata-rata diameter bekas indentor (mm)

Selain dari data kekerasan pengujian ini menginginkan data efisiensi (%) dari hasil pengujian, efisiensi merupakan ketepatan cara dalam menjalankan suatu pekerjaan tanpa membuang waktu, tenaga, atau material yang digunakan, dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$e\% = \frac{HV_1}{HV_0} \dots\dots\dots(3.4)$$

Ket:

HV<sub>1</sub> : Data hasil uji kekerasan

HV<sub>0</sub> : Data base metal uji kekerasan

Adapun langkah-langkah pada pengujian kekerasan adalah sebagai berikut

- 1) Persiapan alat dan bahan yang meliputi alat uji keras, dan Sampel uji kekerasan
- 2) Letakan sampel di *bed*

- 3) Sampel ditekan dengan indenter yang berbentuk kerucut dengan pembebanan yang diinginkan
- 4) Keluarkan sampel uji kekerasan
- 5) Ukur kedalaman yang terbentuk pada Sampel

#### **3.4.4 Pengujian Metalografi**

Untuk mengetahui bentuk struktur mikro hasil pengelasan *friction welding* dilakukan Analisa struktur mikro dengan menggunakan *Optical Microscope* dan menggunakan standar uji ASTM E3 dengan tahapan sebagai berikut

- 1) Menyiapkan sampel
- 2) Mengamplas sampel hingga tidak terlihat goresan
- 3) Melakukan *polish* pada Sampel hingga mengkilap
- 4) Melakukan etsa terhadap Sampel dengan menggunakan larutan
  1. 3 ml HF
  2. 100 ml aquades
  3. 1 gr FeCl<sub>3</sub>
  4. 50 ml HCl
- 5) Menyiapkan alat uji foto mikro
- 6) Merekam data yang tampil pada alat foto mikro

Adapun data hasil pengujian struktur mikro yang diinginkan merupakan data perubahan struktur mikro, dan foto struktur mikro perbesaran 100x dan mendapatkan hasil foto berukuran 180 mikron

### 3.5 Karakterisasi Awal

Pada penelitian ini material yang digunakan adalah aluminium 6063 dan tembaga murni dan berikut ini adalah komposisi dari aluminium 6063 dan tembaga murni seperti pada yang tertera pada Tabel 3.1.

**Tabel 3.1** Komposisi kimia material dasar (*base metal*)

<b>Komposisi Al 6063</b>	<b>Persentase (%)</b>	<b>Komposisi Cu Murni</b>	<b>Persentase (%)</b>
Al	98,5	Cu	99,7
Si	0,533	Zn	0,0444
Fe	0,186	Sn	0,0229
Mg	0,528		

Kemudian untuk kekuatan tarik dasar pada material aluminium 6063 dan tembaga murni seperti pada Tabel 3.2

**Tabel 3.2** Kekuatan Tarik dasar Material

<b>Material</b>	<b>Dimensi</b>	<b>Luas Penampang</b>	<b>Gaya Maksimum (N)</b>	<b>Maks Stress (N/mm<sup>2</sup>)</b>
Al 6063	12,5	123	28750	233,6
	12,3	120	26500	220,6
<b>Rata-Rata</b>			27625	227,1
Cu	12,3	119	33000	276,5
	12,3	119	33500	282,0
<b>Rata-Rata</b>			33250	279,2

Kalibrasi gaya diperlukan pada penelitian ini karena alat ukur yang tersedia pada peralatan *friction welding* adalah *pressure gauge* yang mengukur tekanan hidrolis silinder aktuator (bar) yang mendorong sampel yang tidak berputar ke sampel yang berputar. Nilai gaya dorong sampel aluminium ke sampel tembaga dapat diketahui dengan melakukan proses kalibrasi menggunakan *load cell*. Hasil kalibrasi tekanan hidrolis silinder aktuator (bar) ke gaya dorong antara dua sampel (N) dan kemudian dikonversi ke satuan tekanan tekan (MPa) dengan memperhitungkan luas penampang sampel yang ditunjukkan pada Tabel 3.3.

**Tabel 3.3** Data konversi gaya yang digunakan pada alat *friction welding*

<b>Tekanan Silinder Hidrolik (bar)</b>	<b>Gaya tekan pada sampel (N)</b>	<b>Tekanan sampel (MPa)</b>
30	2116	18
40	3548	31
50	4759	42
150	14775	130

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Dalam penelitian ini pengaruh *friction pressure* dan *rotation speed* terhadap sifat mekanik dan fisik sambungan dari hasil *friction welding* aluminium 6063 dan tembaga diperoleh dengan melakukan tahap pengujian yaitu analisa hasil pengujian komposisi *base metal*, pengamatan visual hasil lasan, uji tarik, uji kekerasan dan analisa struktur mikro dengan menggunakan *optical microscope*. Dari beberapa tahap pengujian tersebut mendapatkan data hasil pengujian untuk di analisa dan menghasilkan suatu pembahasan dan kesimpulan yang sesuai dengan tujuan dari penelitian.

#### **4.1 Hasil pengujian komposisi *base metal***

Sebelum dilakukannya *friction welding*, *base metal* aluminium 6063 dan tembaga murni dilakukan pengujian komposisi untuk memperkirakan fenomena yang terjadi selama *friction welding* dilakukan. Pengujian komposisi *base metal* ini dilakukan dengan menggunakan alat *spectro analyse* PMI-Master Pro. PMI-Master Pro adalah spektrometer seluler yang kuat untuk mengidentifikasi unsur material dari berbagai logam. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat seperti pistol yang mudah digenggam oleh tangan. Grade material dan komposisi kimianya akan muncul dalam beberapa detik pada layar sentuh *thin film transistor* yang terintegrasi. Bergantung pada aplikasinya, terdapat berbagai mode operasi yang bisa digunakan misalnya untuk identifikasi unsur, kalibrasi maupun standarias

Mekanisme alat PMI-Master Pro ini berdasarkan prinsip interaksi antara radiasi elektromagnetik (biasanya sinar X) ditembakkan ke suatu sampel, atom-atom dalam *Sampel* akan menyerap energi sinar X yang kemudian dipancarkan kembali dalam bentuk sinar X dengan panjang gelombang yang spesifik.

Kelebihan alat Spectra Analyse PMI-Master Pro yaitu memiliki mobilitas sempurna dengan menggunakan tenaga baterai, pengujian cepat dan praktis, teknologi *Jet-Stream* untuk *Sampel* kecil dan analisis kandungan karbon dalam suatu material. Cara kerja dari alat ini yaitu sampel yang akan dianalisa biasanya disiapkan dalam bentuk *Sampel* yang telah dipreparasi, bersih dan permukaannya rata. Dimana, alat akan memancarkan sinar-X ke sampel lalu atom-atom dalam sampel akan menyerap dan memancarkan kembali sinar-X dengan panjang gelombang tertentu yang menjadi spektrum. Berikut ini merupakan hasil dari pengujian komposisi dapat dilihat pada tabel 3.1 diatas.

#### **4.2 Pengamatan visual sambungan *friction welding***

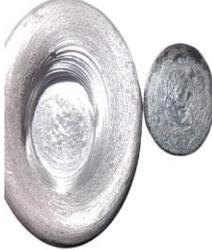
Setelah mengamati pada hasil *friction welding*, dapat dilihat pada daerah sambungan terdapat flash atau tonjolan logam yang terjadi akibat oleh gesekan kedua permukaan kontak kedua logam material dan menimbulkan panas yang semakin tinggi hingga material logam mengalami lumer (tidak mencapai titik cair) dan pada saat yang bersamaan diberi tekanan yang sudah di tentukan dengan waktu yang konstan

Terbentuknya *flash* akibat *Friction welding* mengakibatkan berkurangnya panjang *Sampel*. Hal ini terjadi karena semakin besar tekanan gesek, waktu gesek,

dan *forging pressure* yang diberikan, semakin besar pula flash yang dihasilkan dan diikuti panjang Sampel yang semakin berkurang.

**Tabel 4.1** Sambungan hasil *friction welding* Al-Cu

Hasil sambungan	Rotation speed (rpm)	Makro sambungan	Friction pressure (MPa)	Burn off length (mm)	Flash (mm <sup>3</sup> )
	1900		18	18	2034,72
	1900		31	12	2034,72
	1900		42	15	2034,72
	2100		18	21	2373,84

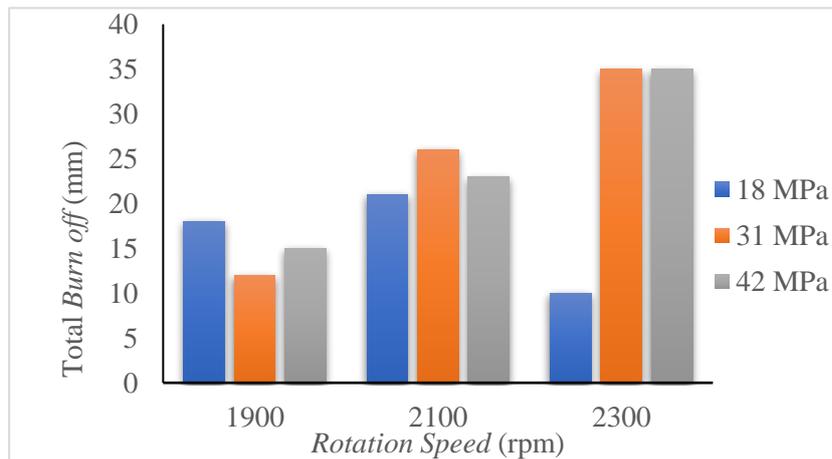
<b>Hasil sambungan</b>	<b>Rotation speed (rpm)</b>	<b>Makro sambungan</b>	<b>Friction pressure (MPa)</b>	<b>Burn off length (mm)</b>	<b>Flash (mm<sup>3</sup>)</b>
	2100		31	26	2373,84
	2100		42	23	2373,84
	2300		18	10	1130,4
	2300		31	35	3956,4

Hasil sambungan	Rotation speed (rpm)	Makro sambungan	Friction pressure (MPa)	Burn off length (mm)	Flash (mm <sup>3</sup> )
	2300		42	35	3956,4

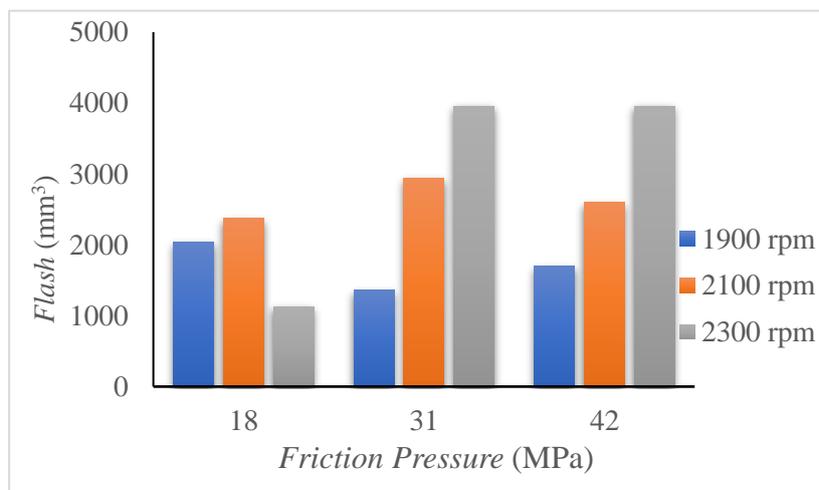
Pengamatan hubungan antara panjang pembakaran (*burn-off length*) dan kecepatan rotasi (*rotational speed*) yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 diatas menunjukkan beberapa fenomena penting, pada *Rotation speed* yang rendah biasanya cukup untuk menghasilkan suhu yang tinggi yang diperlukan untuk pembentukan ikatan, seiring dengan peningkatan *Rotation speed*, (*burn-off length*) meningkat secara stabil. Ini menunjukkan bahwa peningkatan *Rotation speed* meningkatkan suhu yang dihasilkan oleh gesekan [29]

Jika kita tinjau lebih jauh tentang mekanika, pengelasan pada dasarnya berfungsi sebagai jembatan yang menggabungkan dua substrat yang berbeda dan memastikan adanya konektivitas material yang berkelanjutan. Hal ini khususnya relevan jika kita mempertimbangkan sifat ikatan tersebut – ikatan intermetalik. Ikatan semacam itu terbentuk ketika atom-atom dari logam yang berbeda berbagi elektron, sehingga menghasilkan hubungan yang kuat yang meningkatkan sifat material yang terlibat [30].

Hasil lasan tidak hanya memperkuat stabilitas struktural komponen-komponen ini, tetapi juga memperkuat kemampuannya untuk menahan tekanan dan berat. Untuk menyatakannya dalam istilah yang dapat diukur, kapasitas menahan beban komponen-komponen tersebut terlihat dua kali lipat secara efektif. Akan tetapi, bidang pengelasan bukannya tanpa kerumitan. Sementara efisiensi keseluruhan sambungan las menunjukkan peningkatan, pengamatan yang lebih dekat mengungkapkan perbedaan yang nyata dalam kualitas sambungan. Anehnya, ketika sambungan las dibuat dari bahan yang sama, efisiensinya lebih unggul [30]



**Gambar 4.1** Gambar diagram *burn off length*



**Gambar 4.2** Gambar diagram *Flash (mm<sup>3</sup>)*

Pengamatan *flash* ( $mm^3$ ) dengan *friction pressure* (MPa) yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini, Setelah mengamati pada hasil *friction welding*, dapat dilihat pada daerah sambungan terdapat *flash* ( $mm^3$ ) atau logam yang menonjol keluar yang disebabkan oleh gesekan kedua ujung material dan menimbulkan panas semakin tinggi hingga material logam mengalami lumer (tidak mencapai titik cair) dan pada saat yang bersamaan diberi tekanan dengan waktu yang telah ditentukan.

Terbentuknya *flash* ( $mm^3$ ) akibat *friction welding* mengakibatkan berkurangnya panjang sampel. Hal ini terjadi karena semakin besar tekanan gesek, waktu gesek, dan *forging pressure* yang diberikan, semakin besar pula *flash* ( $mm^3$ ) yang dihasilkan dan diikuti panjang Sampel yang semakin berkurang. Perubahan panjang Sampel dan lebar *flash* ( $mm^3$ ) masing-masing variasi tekanan gesek dan *rotation speed* (rpm) dapat dilihat pada gambar grafik di bawah ini.

### **4.3 Kekuatan tarik sambungan *friction welding***

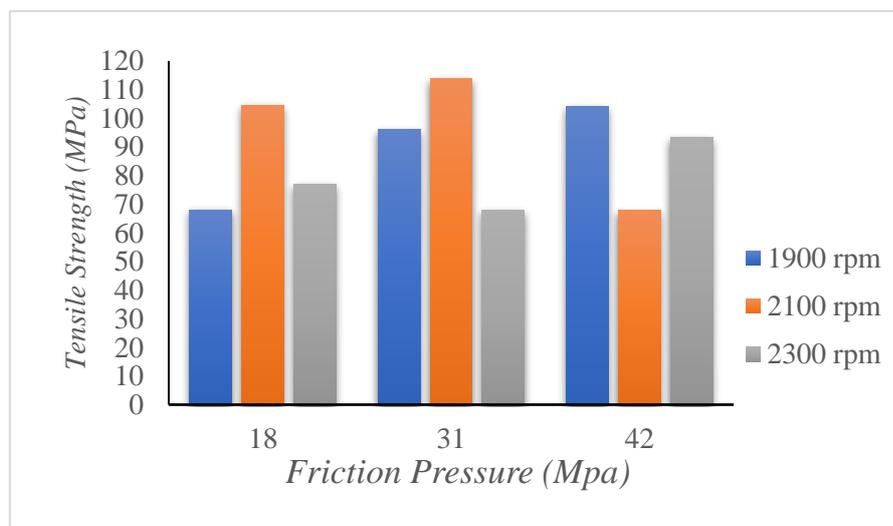
Ketika aluminium 6063 diputar pada kecepatan tertentu temperatur permukaan logam yang saling bergesekan meningkat dan aluminium 6063 menjadi lebih lunak. Lalu Tembaga ditekan menggunakan hidrolik sambil aluminium 6063 berputar, memungkinkan tembaga untuk menembus ke dalam aluminium 6063. Lalu putaran pada aluminium 6063 dihentikan yang kemudian diberikan waktu tekan. Tujuannya adalah untuk meningkatkan kekuatan tarik pada sambungan. Sehingga memiliki distribusi partikel yang homogen antara aluminium 6063 dan tembaga di daerah sambungan hasil pengelasan. Pengujian tarik ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar material dapat terdeformasi sampai batas maksimum

dan mengalami perpatahan. Dan untuk kuat tarik dari *base metal* aluminium 6063 itu sendiri memiliki kekuatan sebesar 224 MPa dan untuk tembaga memiliki kekuatan sebesar 279 MPa Seperti yang tertera pada Tabel 4.2.

**Tabel 4.2** Hasil pengujian tarik

rpm	<i>Friction pressure</i> (P <sub>1</sub> )	F max (kN)	<i>Tensile Strength</i> (MPa)
1900	18 MPa	7,7	76,8
	31 MPa	10,9	67,9
	42 MPa	11,8	93,2
2100	18 MPa	11,7	104,5
	31 MPa	12,6	113,7
	42 MPa	7,7	67,8
2300	18 MPa	8,7	68,0
	31 MPa	7,7	96,1
	42 MPa	10,5	104,0

Pada penelitian yang telah dilakukan dengan menggunakan parameter hasil kekuatan tarik terhadap *friction pressure* yang tertera pada Gambar grafik 4.3.

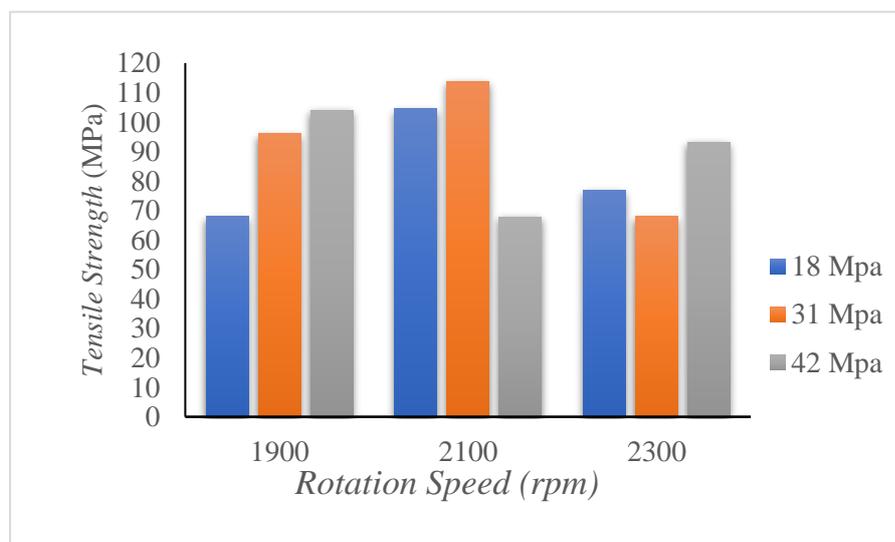


**Gambar 4.3** Gambar grafik hasil uji tarik terhadap *friction pressure*

Dapat diketahui bahwa pada variasi *rotation speed* 2300 rpm hasil dari kekuatan tarik sambungan Al-Cu dengan penekanan atau *Friction pressure* 18 MPa mendapatkan hasil kekuatan tarik sebesar 76 MPa sedangkan pada penekanan atau *Friction pressure* 31 MPa mendapatkan kekuatan tarik sebesar 67 MPa dan untuk penekanan atau *friction pressure* 42 MPa mendapatkan hasil kekuatan tarik sebesar 93 MPa

Untuk penekanan atau *friction pressure* sebesar 18 MPa mengalami kenaikan pada hasil kekuatan tariknya yaitu sebesar 104 MPa jika disandingkan dengan variasi *Rotation speed* 2300 rpm sedangkan pada variasi penekanan atau *friction pressure* sebesar 31 MPa mengalami kenaikan kembali sebesar 113 MPa dan pada variasi penekanan atau *friction pressure* 42 MPa mengalami penurunan sebesar 67 MPa dari pengujian sebelumnya dengan variasi *rotation speed* sebesar 2300 rpm

Kemudian pada penelitian ini dengan menggunakan parameter hasil kekuatan tarik terhadap *friction pressure* yang tertera pada Grafik 4.4.



**Gambar 4.4** Gambar grafik hasil uji tarik terhadap *rotation speed*

Pada variasi *rotation speed* sebesar 1900 rpm dengan variasi mengalami kenaikan secara konstan, pada penekanan atau *friction pressure* 18 MPa mempunyai kekuatan tarik sebesar 68 MPa, untuk *friction pressure* sebesar 31 MPa memiliki kekuatan tarik 96 MPa dan untuk *friction pressure* sebesar 42 MPa memiliki kekuatan tarik sebesar 104 MPa

Pada Gambar 4.4 di atas dapat dilihat bahwa dengan menggunakan parameter hasil kekuatan tarik terhadap *rotation speed* menunjukkan bahwa pada tekanan 18 MPa menunjukkan adanya hasil yang fluktuatif seperti pada saat sampel diberi *rotation speed* 1900 rpm dengan hasil kekuatan tarik 68 MPa lalu pada saat diberi *rotation speed* 2100 rpm hasil dari kekuatan tarik sampel meningkat dengan hasil kuat tarik sebesar 104,5 MPa namun ketika sampel diberi *rotation speed* yang lebih tinggi yaitu 2300 rpm hasil dari kuat tarik sampel menurun menjadi 76 MPa. Sedangkan pada tekanan 31 MPa mempunyai hasil kuat tarik yang fluktuatif juga dapat dilihat bahwa pada *rotation speed* 1900 rpm mempunyai hasil kuat tarik 96,1 MPa sedangkan pada *rotation speed* 2100 rpm memiliki hasil kuat tarik yang meningkat sebesar 113,7 MPa namun pada saat *rotation speed* 2300 rpm hasil kuat tarik pada sampel menurun hingga 67,9 MPa

Lalu pada tekanan 42 MPa juga mempunyai hasil yang fluktuatif dapat dilihat pada Gambar 4.4 di atas bahwa pada *rotation speed* 1900 rpm mempunyai hasil kuat tarik sebesar 104 MPa, pada *rotation speed* 2100 rpm mempunyai kekuatan sebesar 67,8 MPa, dan pada *rotation speed* 2300 rpm 93,2 MPa. berbeda dengan dua parameter sebelumnya yang mempunyai hasil kuat tarik meningkat lalu menurun pada *rotation speed* yang tinggi pada parameter ini hasil yang di dapat

justeru memiliki penurunan terlebih dahulu lalu mengalami peningkatan pada *rotation speed* yang tinggi itu dapat disebabkan oleh *friction pressure* yang tinggi dan diiringi oleh *rotation speed* yang tinggi pula.

Kekuatan sambungan las gesek (*Friction welding*) dapat mencapai nilai maksimum ketika temperatur tempanya optimal. Temperatur tersebut bisa dicapai dengan cara mengatur variasi *friction pressure*, *friction time*, dan *rotation speed* (rpm). *Friction pressure* yang diberikan dapat mempengaruhi temperatur pada saat gesekan berlangsung. Semakin tinggi *friction pressure* maka pembebanan juga akan meningkat dan temperatur yang dihasilkan juga semakin tinggi. Peningkatan beban gesek terhadap struktur mikro memperlihatkan perbedaan bentuk dan ukuran butiran (*grain size*) pada logam las dan HAZ [31]

Sambungan pada hasil *friction welding* mempunyai hasil yang fluktuatif ada yang memiliki hasil kuat tarik tinggi dan ada juga yang mempunyai hasil kuat tariknya rendah, hasil kuat tarik yang tinggi pada hasil sambungan *friction welding* disebabkan oleh perpindahan unsur antara tembaga kedalam material aluminium 6063 yang ditunjukkan oleh data hasil SEM (*scanning electron microscopy*) dapat dilihat pada lampiran B.7, kemudian untuk sambungan hasil *friction welding* yang mendapatkan kekuatan tarik rendah disebabkan oleh banyaknya oksida pada permukaan kedua material hal tersebutlah yang menyebabkan hasil kuat tarik rendah karena kedua material sukar untuk berdifusi dan membentuk ikatan

#### **4.4 Kekerasan hasil *friction welding***

Kekerasan Vicker dilakukan untuk mengetahui distribusi kekerasan pada material sampel uji karena pada penelitian ini sampel dibuat dengan cara

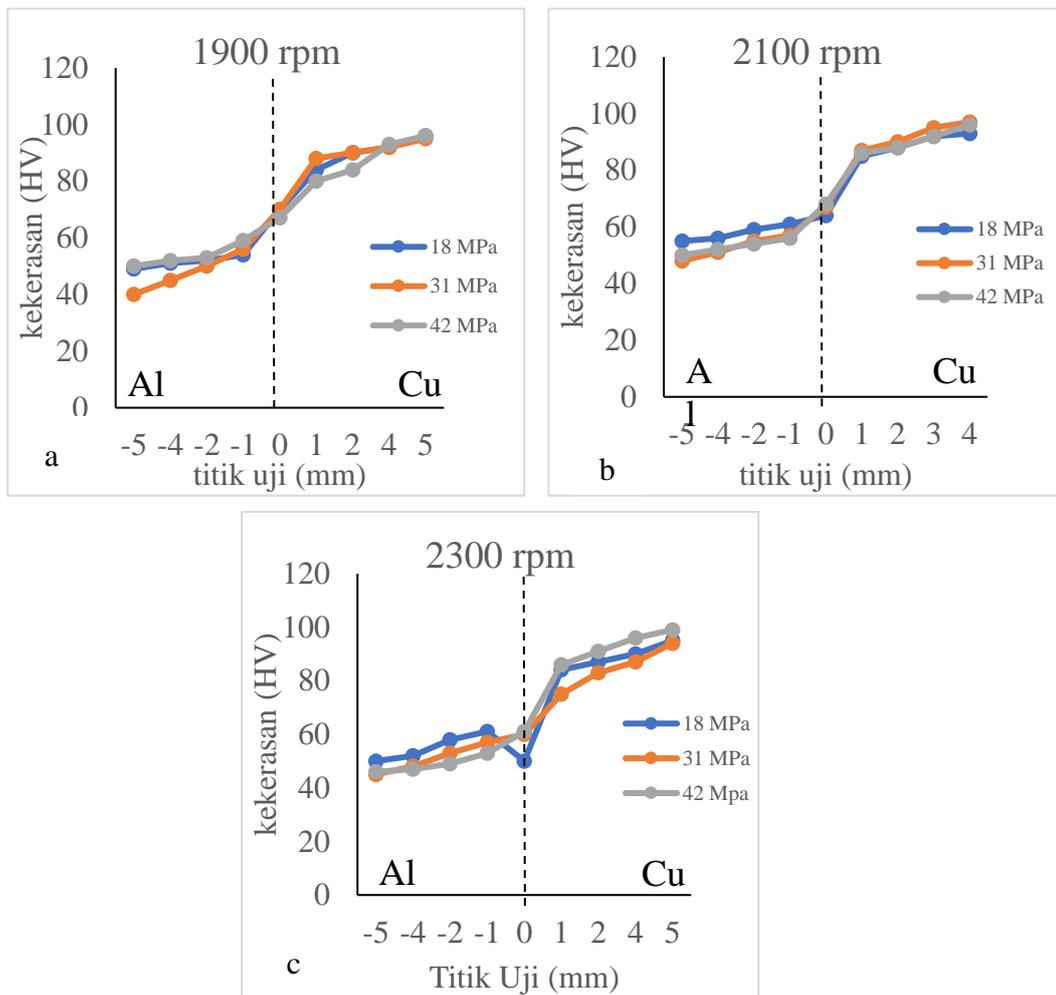
pergesekan (*frictional*) dan *deformasi plastis* sehingga perlu dilakukan pengujian kekerasan yang bertujuan selain dari mengetahui distribusi kekerasan yaitu untuk mengetahui kemampuan suatu material menahan beban. Secara umum profil sambungan pada variasi *friction pressure* cenderung memiliki peningkatan kekerasan pada daerah sambungan terutama memiliki kekuatan lebih keras dibandingkan dengan logam induk material aluminium 6063.

Hasil uji kekerasan untuk semua parameter *friction welding* ditampilkan ke dalam bentuk grafik seperti ditunjukkan pada gambar di bawah, pada Gambar 4.5 menunjukkan bahwa pada variasi *tekanan friction* 42 MPa dengan *rotation speed* 2300 rpm memiliki kekerasan pada sambungan yang paling tinggi yaitu 61 HV pada sambungan hasil pengelasan, sedangkan nilai kekerasan terendah pada daerah sambungan menggunakan *rotation speed* 2300 rpm dengan parameter *friction pressure* 18 MPa yaitu sebesar 50 HV. Selanjutnya pada variasi *tekanan friction* 31 MPa dengan *rotation speed* 2300 rpm mempunyai nilai kekerasan pada sambungan hasil pengelasan sebesar 50 HV.

Untuk parameter *rotation speed* 2100 rpm dengan variasi *tekanan friction* 18, 31, dan 42 MPa pada Gambar 4.5 di bawah mengalami peningkatan kekerasan pada sambungan las. Untuk variasi *tekanan friction* 18 MPa dengan *Rotation speed* 2100 rpm mempunyai nilai kekerasan sebesar 64 HV pada sambungan, kemudian pada *tekanan friction* 31 MPa dengan *rotation speed* 2100 rpm mempunyai nilai kekerasan sebesar 67 HV pada sambungan, dan untuk *tekanan friction* 42 MPa dengan *Rotation speed* 2100 rpm mempunyai nilai kekerasan sebesar 68 HV pada sambungan.

Kemudian pada parameter *rotation speed* 1900 rpm dengan variasi *friction pressure* 18, 31, dan 42 MPa pada Gambar 4.5 di bawah mengalami peningkatan kekerasan pada daerah sambungan las dimana pada tekanan *friction* 18 MPa dengan *rotation speed* 1900 rpm memiliki kekerasan pada sambungan sebesar 70 hv pada sambungan, lalu untuk tekanan *friction* 31 mpa dengan *rotation speed* 1900 rpm memiliki kekerasan pada sambungan sebesar 70 HV pada sambungan, dan untuk tekanan *friction* 42 MPa dengan *Rotation speed* 1900 rpm memiliki nilai kekerasan sebesar 67 HV dimana pada variasi ini mengalami penurunan nilai kekerasan pada daerah sambungan hasil lasan.

Melihat dari keseluruhan grafik di bawah dapat disimpulkan meningkatnya variasi *friction pressure* menghasilkan nilai kekerasan pada sambungan yang meningkat dan pada variasi *rotation speed* nilai hasil kekerasan juga meningkat berbanding terbalik dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Margono dkk [32] yang mengatakan bahwa variasi tekanan gesek yang semakin meningkat dapat menurunkan nilai kekerasan sambungan *friction welding*, namun sebaliknya apabila waktu gesek meningkat maka nilai kekerasan pada daerah sambungan *friction welding* juga akan meningkat. Pengaruh pengelasan sambungan *friction welding* antara logam tak sejenis terhadap nilai kekerasan adalah semakin besar variasi tekanan gesek yang diberikan dengan variasi waktu gesek konstan nilai kekerasannya semakin menurun [33]



**Gambar 4.5** (a) Grafik hasil uji kekerasan pada parameter kecepatan 2300 rpm  
 (b) Grafik hasil uji kekerasan pada parameter kecepatan 2100 rpm (c) Grafik hasil uji kekerasan pada parameter kecepatan 1900 rpm

Pada penelitian yang telah dilakukan oleh B margono [32] dikatakan variasi *friction pressure* yang semakin meningkat dapat menurunkan nilai kekerasan sambungan *friction welding*, namun sebaliknya apabila waktu gesek meningkat maka nilai kekerasan pada daerah sambungan *friction welding* juga akan meningkat. Tetapi peningkatan *friction pressure* diikuti dengan waktu gesek yang lama justru malah menurunkan nilai kekerasan pada daerah sekitar sambungan

pengelasan, namun pada penelitian yang telah dilakukan seiring meningkatnya variasi *friction pressure* nilai kekerasan mengalami kenaikan namun jika dibandingkan dengan variasi *rotation speed* semakin tinggi rpm yang diberikan maka nilai kekerasan yang didapat semakin menurun

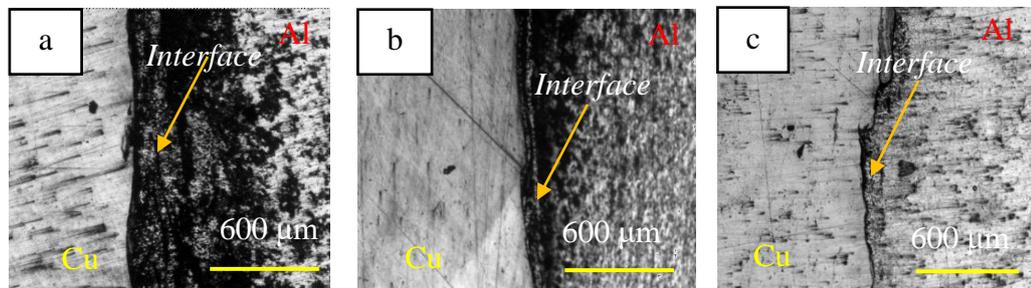
#### **4.5 *Microstructure friction welding Al-Cu***

Analisa struktur sambungan las pada *friction welding* Al Cu yang tidak sama pada *interface* dengan berbagai *Rotation speed* dan berbagai macam *Friction pressure* yang diambil dari posisi tengah garis, analisa mikrostruktur dilakukan pada penampang sambungan *rotary Friction welding (RFW)* untuk mengidentifikasi berbagai *microstructure*

Mengacu pada penelitian yang telah dilakukan oleh Yuichi ONO et al. [34] yang menyelidiki terhadap pengaruh parameter *rotation speed*, *friction pressure* dan *forging pressure* terhadap mikrostruktur dan sifat tarik sambungan *rotary Friction welding*. Penelitian tersebut menyimpulkan bahwa zona yang terpengaruh panas atau *Heat Affected Zone (HAZ)* ditemukan sebagai posisi yang paling rentan karena mengalami kenaikan suhu yang tinggi.

Semakin tinggi kecepatan putaran, semakin tinggi pula temperturnya, sehingga ketika temperatur mencapai titik di atas rekristalisasi akan mengubah bentuk mikrostruktur aluminium dan tembaga. Pada aluminium dan tembaga, terdapat daerah yang terkena panas *Heat Affected Zone (HAZ)*. [36]. Namun juga jika diteruskan nilai upsetnya juga akan dapat naik dan kemudian turun. Jika dilihat bagian yang terkena pengaruh panas yang sering disebut dengan *Heat Affected Zone (HAZ)* akan semakin panjang. *Heat Affected Zone (HAZ)* dalam penelitian ini lebih

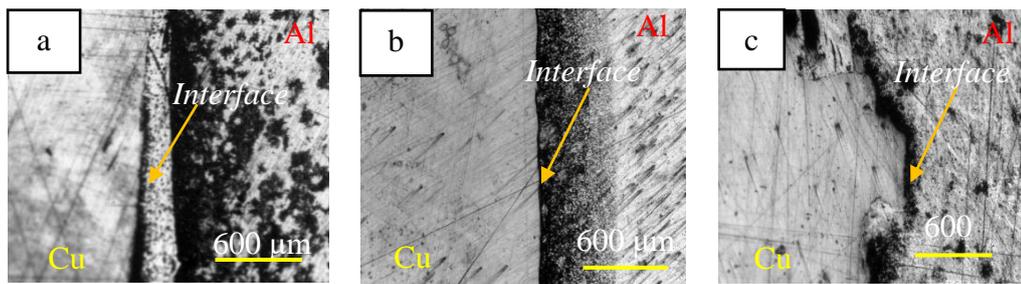
diterjemahkan sebagai daerah yang terkena panas sehingga permukaannya terkena oksidasi, ada perubahan warna di permukaannya [36] .



**Gambar 4.6** Struktur mikro sambungan *friction welding* dengan tekanan *friction* 18 MPa (a) 2300 rpm (b) 2100 rpm (c) 1900 rpm

Pada Gambar 4.6 diatas dengan menggunakan *Friction pressure* 18 MPa dapat dilihat bahwa lebar *interface* berkurang seiring dengan menurunnya *rotation speed* (rpm) pada *Rotation speed* 2300 rpm mempunyai karakteristik *interface* yang mempunyai lebar sebesar 16 μm dan sedangkan pada bagian *Heat Affected Zone* (HAZ) material aluminium 6063 terlihat mempunyai batas butir yang pipih dikarenakan penekanan pada *forging force* namun pada material tembaga tidak mempunyai *Heat Affected Zone* (HAZ) dikarenakan suhu pada saat *Friction welding* tidak mencapai suhu *deformasi plastis* untuk material tembaga dan pada hasil kekuatan tarik pada sampel tersebut mempunyai kekuatan tarik sebesar 76,8 mpa dikarenakan lebar *interface* atau kedua material tidak berdifusi dengan sempurna sehingga menghasilkan kekuatan tarik yang tidak terlalu tinggi, lalu pada variasi *rotation speed* 2100 rpm mempunyai *interface* yang tidak begitu luas namun tidak begitu sempit juga, dan mempunyai lebar *interface* 18 μm lalu untuk *Heat Affected Zone* (HAZ) dibagian aluminium 6063 juga mempunyai batas butir yang pipih juga

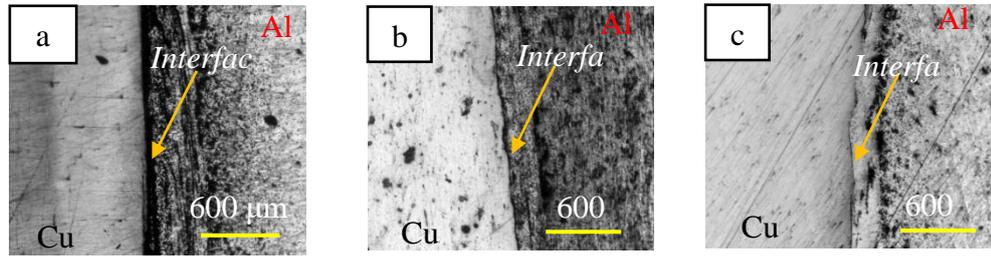
sama seperti variasi *rotation speed* 2300 rpm lalu untuk material tembaga mempunyai daerah *Heat Affected Zone (HAZ)* yang tidak begitu luas dikarenakan suhu pada saat *friction welding* tidak mencapai titik rekristalisasi untuk material tembaga namun untuk nilai kekuatan tarik material mendapatkan angka 104,5 MPa dikarenakan lebar *interface* atau kedua material mengalami deformasi plastis dengan sempurna sehingga menghasilkan kekuatan tarik yang tidak cukup tinggi , kemudian untuk variasi *rotation speed* 1900 rpm memiliki luas *interface* yang tipis dengan lebar *interface* 10  $\mu\text{m}$  tidak seperti variasi kecepatan 2300 rpm dan 2100 rpm dan untuk batas butir pada daerah *Heat Affected Zone (HAZ)* di variasi *Rotation speed* 1900 rpm tidak terlihat pipih tidak seperti pada variasi *rotation speed* 2300 dan 2100 rpm lalu untuk hasil kekuatan tarik pada *Sampel* tersebut mempunyai nilai sebesar 68 MPa dikarenakan lebar *interface* atau kedua material tidak berdifusi dengan sempurna sehingga menghasilkan kekuatan tarik yang tidak cukup rendah untuk variasi *Friction pressure* 18 MPa



**Gambar 4.7** Struktur mikro sambungan *friction welding* dengan tekanan *friction* 31 MPa (a) 2300 rpm (b) 2100 rpm (c) 1900 rpm

Pada Gambar 4.7 di atas dapat dilihat bahwa pada *Friction pressure* 31 MPa dengan menggunakan variasi *Rotation speed* 2300 rpm mempunyai *interface*

yang cukup luas pada bagian sambungan lasan dengan lebar *interface* 19  $\mu\text{m}$  dan sementara itu pada material tembaga tidak memiliki *Heat Affected Zone (HAZ)* pada daerah nya dan untuk bagian di samping *interface* terutama pada material aluminium 6063 mempunyai batas butir yang yang cenderung pipih, dan pada hasil kekuatan tarik pada Sampel tersebut mempunyai kekuatan tarik sebesar 67,9 MPa dikarenakan lebar *interface* atau kedua material tidak berdifusi dengan sempurna sehingga menghasilkan kekuatan tarik yang tidak terlalu tinggi kemudian untuk variasi *Rotation speed* 2100 rpm mempunyai karakteristik *interface* yang luas namun tidak seluas pada variasi *Rotation speed* 2300 rpm dengan lebar *interface* 12  $\mu\text{m}$  dan pada bagian *Heat Affected Zone (HAZ)* terutama pada bagian aluminium 6063 mempunyai batas butir yang lebih pipih dari variasi *Rotation speed* 2300 rpm namun untuk hasil dari kekuatan tarik pada sampel tersebut memiliki hasil yang lebih tinggi dari semua Sampel yaitu sebesar 113,7 MPa, dan untuk variasi *Rotation speed* 1900 rpm mempunyai *interface* yang tidak begitu luas, namun pada bagian *interface* mempunyai bentuk yang tidak lurus disebabkan oleh pembuatan dimana pada saat pembuatan *Sampel* material aluminium 6063 dan tembaga tidak *center* saat proses *Friction welding* dilakukan meskipun Sampel tersebut memiliki bentuk *interface* yang tidak lurus *Sampel* tersebut memiliki hasil kekuatan tarik sebesar 96,1 MPa lalu pada variasi *Rotation speed* 1900 rpm pada kedua material tidak mempunyai *Heat Affected Zone (HAZ)*



**Gambar 4.8** Struktur mikro sambungan *friction welding* dengan tekanan *friction* 42 MPa (a) 2300 rpm (b) 2100 rpm (c) 1900 rpm

Pada Gambar 4.8 di atas dapat dilihat bahwa pada tekanan *friction* 42 MPa dengan menggunakan variasi *Rotation speed* 2300 rpm mempunyai bentuk *interface* yang cukup luas pada bagian sambungan lasan atau luas *interface* sebesar 22  $\mu\text{m}$  dan sementara itu pada material tembaga tidak terpengaruh oleh *Heat Affected Zone (HAZ)* dan untuk bagian di samping *interface* terutama pada material aluminium 6063 mempunyai batas butir yang yang cenderung pipih sehingga mendapatkan hasil kekuatan tarik sebesar 93,2 MPa dikarenakan lebar *interface* atau kedua material tidak berdifusi dengan sempurna sehingga menghasilkan kekuatan tarik yang tidak terlalu tinggi, lalu untuk variasi *rotation speed* 2100 rpm mempunyai karakteristik *interfaec* yang tidak begitu luas namun tidak seperti pada variasi *rotation speed* 2300 rpm pada variasi *rotation speed* 2100 rpm mempunyai luas *interface* sebesar 7  $\mu\text{m}$  dan pada bagian *Heat Affected Zone (HAZ)* terutama pada bagian aluminium 6063 mempunyai batas butir yang lebih pipih dari material dasar sehingga mempunyai nilai kekuatan tarik sebesar 67,8 dikarenakan lebar *interface* atau kedua material tidak berdifusi dengan sempurna sehingga menghasilkan kekuatan tarik yang tidak terlalu tinggi, dan untuk variasi *rotation speed* 1900 rpm mempunyai *interface* yang tidak begitu luas sehingga tidak dapat diukur dengan menggunakan

skala tidak seperti pada variasi 2300, dan 2100 rpm lalu pada bagian di samping *interface* terutama pada bagian aluminium 6063 mempunyai batas butir yang cukup pipih tidak seperti pada bagian logam dasar aluminium 6063 lalu untuk bagian material tembaga tidak terpengaruh oleh *Heat Affected Zone (HAZ)* sehingga tidak memiliki batas butir yang pipih tidak seperti pada material aluminium 6063 namun meskipun lebar *interface* tidak terlihat Sampel tersebut mempunyai hasil kekuatan tarik sebesar 104,0 MPa.

Mengacu pada gambar di atas dapat dilihat bahwa lebar *interface* berkurang seiring berkurangnya *rotation speed*, *interface* yang sempit dikaitkan dengan panjang burn-off karena *rotation speed* yang lebih tinggi pada dasarnya menimbulkan panas yang lebih cepat sehingga aluminium 6063 lebih cepat untuk memasuki *fase rekristalisasi*, pada gambar mikro struktur diatas butiran dapat diamati bahwa keberadaan butiran yang halus ada pada daerah aluminium 6063 disebabkan karena suhu untuk aluminium 6063 mengalami *fase rekristalisasi* lebih rendah daripada tembaga. semakin tinggi temperatur pada proses pengelasan dan semakin lama panas yang dihasilkan, akan memperluas haz pada kedua sisi sambungan, sehingga mempengaruhi nilai kekuatan tarik.

Semakin tinggi *rotation speed* maka semakin tinggi pula suhunya, sehingga ketika suhu mencapai titik di atas, rekristalisasi akan mengubah bentuk mikrostruktur aluminium 6063 dan tembaga. Pada aluminium dan tembaga, kita temukan bagian *Heat Affected Zone (HAZ)* atau zona yang terpapar oleh panas [35]

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Adapun kesimpulan pada penelitian *Friction welding* yang telah dilakukan adalah sebagai berikut

1. Untuk pengaruh *friction pressure* terhadap sifat mekanik sambungan aluminium 6063 dan tembaga mempunyai kuat tarik sebesar 83,1 MPa pada *friction pressure* 18 mpa dengan efisiensi 37% lalu kuat tarik pada *friction pressure* 31 mpa mendapatkan hasil sebesar 92,6 MPa dengan efisiensi 41% dan pada *friction pressure* 42 mpa mendapatkan kekuatan sebesar 88,3 MPa dengan efisiensi 39% dengan kesimpulan semakin besar *friction pressure* maka semakin rendah hasil kuat tarik atau semakin menurunkan efisiensi. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan parameter yang mempunyai nilai optimum yaitu parameter 2100 rpm dengan *friction pressure* 31 MPa.
2. Kemudian pengaruh *rotation speed* pada penelitian *friction welding* ini mempengaruhi sifat kekerasan pada sambungan lasan *friction welding* tersebut pada variasi kecepatan 1900 rpm mempunyai nilai kekerasan sebesar 69 hv pada daerah sambungan hasil lasan dengan rata-rata persentase 83% dari kekerasan *base metal* yaitu 83 hv, untuk kecepatan 2100 rpm mempunyai kekerasan sebesar 66,3 hv pada daerah sambungan hasil lasan dengan rata-rata persentase 80% dari kekerasan *base metal* yaitu 83 hv dan untuk kecepatan 2300 rpm mempunyai kekerasan 57 hv pada daerah sambungan hasil lasan dengan rata-rata

persentase 69% dari kekerasan *base metal* yaitu 83 hv. dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi rpm maka semakin rendah hasil kekerasan yang di dapat.

3. Pada hasil struktur mikro sambungan aluminium 6063 dan tembaga pada penelitian *friction welding* mempunyai hasil yang berbanding lurus dengan analisa yang telah dilakukan yaitu semakin besar *friction pressure* maka *interface* semakin lebar dan butiran pada aluminium semakin pipih kemudian jika semakin tinggi rpm maka hasil yang didapatkan mempunyai butiran yang pipih juga dan mempunyai *interface* yang lebar seiring bertambahnya

## 5.2 Saran

Adapun saran dari penelitian untuk penelitan selanjutnya yang akan dilakukan terutama pada parameter *Rotation speed* (rpm) dan *Friction pressure* adalah sebagai berikut

1. Analisa struktur mikro lebih baik menggunakan SEM (*scanning electron microscopy*) agar bisa melihat struktur lebih jelas
2. Permukaan kontak Sampel dibuat sehalus mungkin untuk menghindari *crack* yang tidak diinginkan pada bagian sambungan

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Ambroziak, A. Lange, P. Białucki, W. Derlukiewicz, and E. Szymczak, “Comparison of properties of Al-Cu soldered and resistance welded joints,” *Welding Technology Review*, Vol. 92, No. 2, pp. 25–32, Mar. 2020.
- [2] T. Coetsee and F. De Bruin, “Chemical Interaction of Cr-Al-Cu Metal Powders in Aluminum-Assisted Transfer of Chromium in Submerged Arc Welding of Carbon Steel,” *Processes*, Vol. 10, No. 2, Feb. 2022.
- [3] J. P. Bergmann, F. Petzoldt, R. Schürer, and S. Schneider, “Solid-state welding of aluminum to copper - Case studies,” *Welding in the World*, Vol. 57, No. 4, pp. 541–550, Jul. 2013.
- [4] Y. Firmansyah and K. Sekaran Gunungpati Semarang, “Analisis Kekuatan Tarik Sambungan Aluminium (Al) dan Tembaga (Cu) pada Pengelasan Gesek (Friction Welding) Dengan Variasi Waktu Gesek dan Tempa,” *rotasi*, Vol. 23 No. 3 (Juli 2021) Hal. 9-15.
- [5] K. Anam, A. Syuhri, and H. Sutjahjono, “pengaruh waktu tempa dan tekanan tempa terhadap sifat mekanik aisi 1045 pada proses friction welding,” *Jurnal stator*, Vol. 1 No. 1, Januari 2018.
- [6] R. Winiczenko, “Effect of friction welding parameters on the tensile strength and microstructural properties of dissimilar AISI 1020-ASTM A536 joints,” *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 84, No. 5–8, pp. 941–955, May 2016,
- [7] Nuriadi, M. Napitupulu dan N. Rahman, “Analisis logam tembaga (Cu) pada buangan limbah tromol (tailing) pertambangan poboya”, *Jurnal Akademika Kimia*, Vol 2, No. 2, 2013: 90-96.

- [8] U. Sukamto, D. Probowati, and A. Sudyanto, “Proses Pengolahan dan Pemurnian Bijih Tembaga dengan Cara Konvensional dan Biomining”. Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia ‘Kejuangan’ 18 Maret 2015, ISSN 1693-4393.
- [9] G. E. Dieter, “Metallic Materials Specification Handbook,” *International Metallurgical Reviews*, Vol. 18, No. 4, pp. 191–191, 1973,
- [10] B. Rina, A. Safitri, and D. Lintang Pratama, “analisis kandungan mineral tembaga (cu) yang terdapat pada struktur batu tambang dengan metode atomic absorption spektrofotometer (AAS)”, *Jurnal Ilmiah IKIP Mataram* Vol. 5. No.2 ISSN:2355-6358.
- [11] “copper casting alloys” Copper Development Association Inc., 260 Madison A venue, New York, NY 10016. 1994.
- [12] F. Dalla Torre, R. Lapovok, J. Sandlin, P. F. Thomson, C. H. J. Davies, and E. V. Pereloma, “Microstructures and properties of copper processed by equal channel angular extrusion for 1-16 passes,” *Acta Mater*, Vol. 52, No. 16, pp. 4819–4832, Sep. 2004,
- [13] Perrin. Walker and W. H.Tarn, *Handbook of metal etchants*. CRC Press, Los Angeles, California, 1991.
- [14] T. Surdia, dan S. Saito “Pengetahuan Bahan Teknik”, PT. Pradnya Paramita, Jakarta 13140.
- [15] Mardjuki, “Sifat kekerasan paduan Al-Cu dari hasil proses perlakuan panas penuaan (Aging)”, *Transmisi*, Vol.6 Edisi 1 Hal. 549 – 556.

- [16] M. S. Tahat, N. A. Emira, and H. T. Mohamad, "Study of the Mechanical Properties of Heat Treated 6063 Aluminum Alloy," *Recent Patents on Mechanical Engineering*, Vol. 3, No. 2, pp. 145–148, Jun. 2010,
- [17] Md. Abdul Karim and Y.-D. Park, "A Review on Welding of Dissimilar Metals in Car Body Manufacturing," *Journal of Welding and Joining*, Vol. 38, No. 1, pp. 8–23, Feb. 2020,
- [18] E. Akca and A. Gürsel, "Solid State Welding and Application in Aeronautical Industry," *Periodicals of Engineering and Natural Sciences (PEN)*, Vol. 4, No. 1, Feb. 2016,
- [19] M.R. Gita Firmansyah, Solichin, dan Rr. Poppy Puspitasari, "Analisis Kecepatan Putar, Durasi Gesek dan Tekanan Terhadap Kekuatan Tarik Hasil Pengelasan Gesek (Friction Welding)." *Jurnal Teknik Mesin Dan Pembelajaran*, Vol 1, No 2, Hal 1-5 Des 2018
- [20] B. S. Yilba A, A. Z. Ahin, N. Kahraman, and A. Z. A1-Garni, "Friction welding of St-A1 and A1-Cu materials" *Journal of Materials Processing Technology* 49 (1995) 431-443, 1995.
- [21] S. Deokar, "A Review Paper on Rotary Friction Welding Design and Analysis of Solar Structural and Mountings for Solar Panel View project Design And Structural Analysis Of Heavy Duty Industrial Blower Casing Using FEA View project," *International Conference on Ideas, Impact and Innovation in Mechanical Engineering*, Vol 5 Issue 6, 2017.
- [22] M. Maalekian, "Friction welding - Critical assessment of literature", *Science and Technology of Welding and Joining*, Vol.12 No.8, Nov. 2007.

- [23] H. Ghari, A. Taherizadeh, B. Sadeghian, B. Sadeghi, and P. Cavaliere, “Metallurgical characteristics of aluminum-steel joints manufactured by rotary friction welding: A review and statistical analysis,” *Journal of Materials Research and Technology*, Vol. 30, pp. 2520–2550, May 2024.
- [24] A. Purnomo, “struktur mikro sambungan friction welding antara bahan paduan tembaga dan paduan aluminium akibat waktu tekanan berbeda”, *Mechanical Engineering Department*, Vol.10 No.3, 2015
- [25] R. Denti Salindeho, J. Soukota, R. Poeng, J. Teknik, M. Universitas, and S. Ratulangi, “pemodelan pengujian tarik untuk menganalisis sifat mekanik material.” *Jurnal poros teknik mesin*, Vol.2 NO.2. 2013
- [26] E. Koswara and H. Budiman, “perancangan mesin uji tarik untuk spesimen aluminium dengan kapasitas 5 ton”, *Jurnal J-Ensitec*: Vol 02|No. 02, Mei 2016.
- [27] F.A.Rauf, F.P. Sappu, A.M.A. Lakat “Uji kekrasan dengan menggunakan alat microhardness vicker pada berbagai jenis material teknik”, *Jurnal tekno mesin*, Vol.5 No.1 Okt 2018
- [28] M. Feby Kumayasari, “Studi Uji Kekerasan Rockwell Superficial VS Micro Vickers Comparation Study Of Hardness Testing By Using Rockwell Superficial VS Microvickers”, *jurnal teknologi proses dan inovasi industri*, Vol. 2, No. 2, november 2017.
- [29] A. Sasmito, M. N. Iلمان, P. T. Iswanto, and R. Muslih, “Effect of Rotational Speed on Static and Fatigue Properties of Rotary Friction Welded Dissimilar AA7075/AA5083 Aluminium Alloy Joints,” *Metals (Basel)*, Vol. 12, No. 1, Jan. 2022,

- [30] M. A. Marir, E. L. Sheng, I. O. Bachi, and M. R. Isa, "Tensile efficiency and fatigue life of similar and dissimilar carbon steel joints subjected to rotary friction welding," *Journal of Advanced Joining Processes*, Vol. 8, Nov. 2023,
- [31] Ahmadil Amin "pengaruh variasi beban gesek terhadap struktur mikro axle shaft hasil sambungan friction welding", *Jurnal Teknik Mesin uniska* Vol. 03 No. 01 November 2017
- [32] B. Margono, H. Indra Atmaja, J. Wibowo, J. Teknik Mesin, and A. Teknologi Warga Surakarta, "Pengaruh Tekanan dan Waktu Pengelasan pada Pengelasan Gesek (Friction Welding) terhadap Sifat Fisik dan Mekanik Sambungan Logam Tak Sejenis antara AISI 316 dan AISI 4140," *Prosiding SNTM Re-ACT*. 2019, | eISSN 2720-9547.
- [33] B. Margono, A. Alfayed, R. Faisal Rananto, J. Teknik Mesin, A. "Investigasi Sifat Fisik Dan Mekanik Sambungan Las Logam Tak Sejenis Antara Baja Tahan Karat Aisi 316 Dengan Baja Paduan Aisi 4340 menggunakan Rotary Friction Welding" *Prosiding IENACO*, 2020, ISSN : 2337 – 4349
- [34] Y. Ono, S. Ogawa, and Y. Tachi, "Evaluation of Torsional Characteristics of 6061-T6 Aluminum Alloy Friction-welded Butt Joints using Digital Image Correlation", *Advanced experimental mechanics*, Vol.5, 2020, 103-109.
- [35] H. Santoso, S. Surahto, F. D. Ekawati "Jurnal Asimetri: Jurnal Ilmiah Rekayasa Dan Inovasi The Effect of Rotation Speed on the Quality of Friction Welding Joints in Aluminum and Copper Article information," *Jurnal asimetri: jurnal ilmiah rekayasa dan inovasi*, Vol.6 No.2, Hal 309-318, Jul 2024.

- [36] B. L. Sanyoto, N. Husodo, B. Setyawati, and M. Mursid, “Penerapan Teknologi Las Gesek (Friction Welding) Dalam Proses Penyambungan Dua Buah Pipa Logam Baja Karbon Rendah”, *Jurnal Energi dan Manufaktur* Vol.5, No.1, Oktober 2012: 1-97.

LAMPIRAN A  
PERHITUNGAN

## Lampiran A. Contoh Perhitungan

### 1. Burn Off length (mm)

$$T_1 - T_0 = \text{Burn Off length}$$

Ket:

$T_1$  = Panjang awal

$T_0$  = Panjang akhir

*Burn off length*  $\approx \Delta T$

### 2. Flash ( $\text{mm}^3$ ) $\approx V$

$$V = \pi r^2 \times \Delta T$$

Ket:

$V$  = volume tabung

$\pi$  = nilai 3,14

$r$  = jari jari lingkaran

$\Delta T$  = *burn off length*

Contoh perhitungan

$$V = 3,14 \times 6^2 \times 10$$

$$V = 1130,4$$

### 3. Kekuatan Tarik (MPa)

a. 
$$\sigma = \frac{F}{A}$$

b. 
$$A = \pi \times (D_0 \div 2)^2$$

Ket:

$F$  = Gaya yang diterima (dapat dilihat pada lampiran B.7)

$A$  = Alas pada sampel (dapat dilihat pada lampiran B.6)

$\pi$  = nilai 3,14

$D_0$  = Diameter awal sampel

Contoh perhitungan

$$A = 3,14 \times (12,01/2)^2$$

$$A = 113,2284$$

$$\sigma = \frac{8,7 \times 1000}{113,2284}$$

$$\sigma = 76,8$$

### 4. Kalibrasi bar ke *newton*

#### a. Ekstrapolasi

$$y(n) = n_1 + \frac{(n - n_1)}{(n_2 - n_1)} \times (n_2 - n_1)$$

Contoh perhitungan

$$y(40) = 2116,75 + \frac{(40-30)}{(45-30)} \times (4264 - 2116,75)$$

40 bar = 3548,25 N

5. Kalibrasi *newton* ke MPa  $\approx$  (P)

$$P = \frac{F}{A}$$

Ket

P = Tekanan yang dihasilkan

F = Gaya hasil ekstrapolasi

A = Diameter batang hidrolik (113,0972 mm<sup>2</sup>)

Contoh perhitungan

$$P = \frac{3548,25}{113,0972}$$

$$P = 31,373$$

6. Perhitungan efisiensi %

$$e\% = \left( \frac{\sigma_1}{\sigma_0} \right) \times 100\%$$

Ket

$\sigma_1$  = Data hasil uji tarik

$\sigma_0$  = Data base metal uji tarik

Contoh perhitungan

Efisiensi kekuatan Tarik

$$e\% = \frac{92,6}{227,1} \times 100\%$$

$$= 41\%$$

7. Rata-rata efisiensi kekuatan Kekerasan

$$e\% = \left( \frac{HV_1}{HV_0} \right) \times 100\%$$

Ket

HV<sub>1</sub> = Data hasil uji kekerasan

HV<sub>0</sub> = Data base metal uji kekerasan

Contoh perhitungan

$$e\% = \frac{65,6}{83} \times 100\%$$

$$= 79\%$$

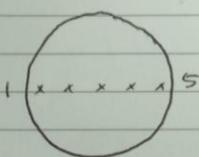
LAMPIRAN B  
DATA PENELITIAN

## Lampiran B. Data Penelitian

### B.1 Kekerasan *Base Material* Aluminium 6063



Frank findelst  
HV 3 kgf



No.

1.	84,1
2.	82,8
3.	84,1
4.	83,5
5.	80,3
	<hr/>
	82,96

## B.2 Komposisi Material Tembaga



**LABORATORIUM TEKNOLOGI KEKUATAN STRUKTUR  
BADAN RISET DAN INOVASI NASIONAL**  
Kawasan Puspitek Gd. 220, Setu, Tangerang Selatan 15314,  
web: www.brin.go.id

### Chemical Result

Probe Nr. / sample ID : round bar Cu Grundwerkstoff / material :

Kunde / customer : Agus Suhartono Abmessung / dimension :

Kom.-Nr. / commission : Zusatzwerkstoff / filler metals :

Labor Nr. / lab-no. : Wärmebehandlung / heat treatment :

PTQ-Nr. / PTQ-no. : Schmelze-Nr. / heat-no. :

Spektralanalyse PMI-MASTER-Pro Werkstoff / grade :

	Cu	Zn	Pb	Sn	Mn	Fe	Ni	Si
1	99.8	0.0527	< 0.200	0.0235	0.0070	0.0089	0.0126	< 0.0040
2	99.7	0.0449	< 0.200	0.0209	0.0067	0.0080	0.0145	0.0057
3	99.7	0.0357	< 0.200	0.0242	0.0064	0.0110	0.0172	0.0051
Ave	99.7	0.0444	< 0.200	0.0229	0.0067	0.0093	0.0147	0.0040

	Mg	Cr	Al	As	Be	Ag	Co	Bi
1	< 0.0005	0.0020	< 0.0010	0.0278	< 0.0010	0.0048	< 0.0020	0.0097
2	< 0.0005	0.0016	0.0013	0.0318	< 0.0010	0.0052	0.0037	0.0087
3	< 0.0005	0.0015	0.0033	0.0317	< 0.0010	0.0052	< 0.0020	0.0103
Ave	< 0.0005	0.0017	0.0018	0.0304	< 0.0010	0.0051	< 0.0020	0.0096

	Cd	Zr	Se	Ti
1	< 0.0020	< 0.0010	0.0092	< 0.0010
2	< 0.0020	< 0.0010	0.0078	< 0.0010
3	< 0.0020	< 0.0010	0.0104	< 0.0010
Ave	< 0.0020	< 0.0010	0.0091	< 0.0010

Ort / town

Datum / date  
2/29/2024

Prüfer / tester  
Aswandi

Sachverständiger / engineer  
Tirta

### B.3 Komposisi Material Aluminium 6063



**LABORATORIUM TEKNOLOGI KEKUATAN STRUKTUR**  
**BADAN RISET DAN INOVASI NASIONAL**  
 Kawasan Puspiptek Gd. 220, Setu, Tangerang Selatan 15314,  
 web: www.brin.go.id

### Chemical Result

Probe Nr. / sample ID : patahan Al uji tarik	Grundwerkstoff / material : Al alloy
Kunde / customer : Khotib	Abmessung / dimension :
Kom.-Nr. / commision :	Zusatzwerkstoff / filler metals :
Labor Nr. / lab-no. :	Wärmebehandlung / heat treatment :
PTQ-Nr. / PTQ-no. :	Schmelze-Nr. / heat-no. :

Spektralanalyse PMI-MASTER-Pro      Werkstoff / grade :

	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr
1	98.7	0.521	0.173	0.0072	0.0024	0.524	< 0.0150	0.0069
2	98.3	0.576	0.199	0.0091	0.0093	0.517	0.0601	0.0135
3	98.6	0.502	0.186	0.0051	0.0022	0.543	0.0483	0.0012
Ave	98.5	0.533	0.186	0.0071	0.0046	0.528	0.0361	0.0072

	Ni	Ti	Be	Ca	Pb	Sn	Sr	V
1	< 0.0050	0.0187	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0050	< 0.0050	< 0.0010	0.0098
2	0.0211	0.0189	< 0.0010	< 0.0010	0.0082	0.0700	< 0.0010	0.0126
3	0.0096	0.0144	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0050	< 0.0050	< 0.0010	0.0074
Ave	0.0113	0.0174	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0050	0.0244	< 0.0010	0.0099

	Bi	Zr	B	Ga	Cd	Co	Ag	In
1	0.0180	0.0023	0.0052	0.0100	0.0097	0.0034	0.0039	< 0.0050
2	0.0632	0.0035	0.0055	0.0123	0.0203	0.0262	0.0082	< 0.0050
3	0.0318	< 0.0020	0.0050	0.0089	0.0111	0.0101	0.0041	< 0.0050
Ave	0.0377	< 0.0020	0.0052	0.0104	0.0137	0.0133	0.0054	< 0.0050

	Ce	Hg	La
1	< 0.0050	< 0.0050	< 0.0050
2	< 0.0050	< 0.0050	< 0.0050
3	< 0.0050	< 0.0050	< 0.0050
Ave	< 0.0050	< 0.0050	< 0.0050

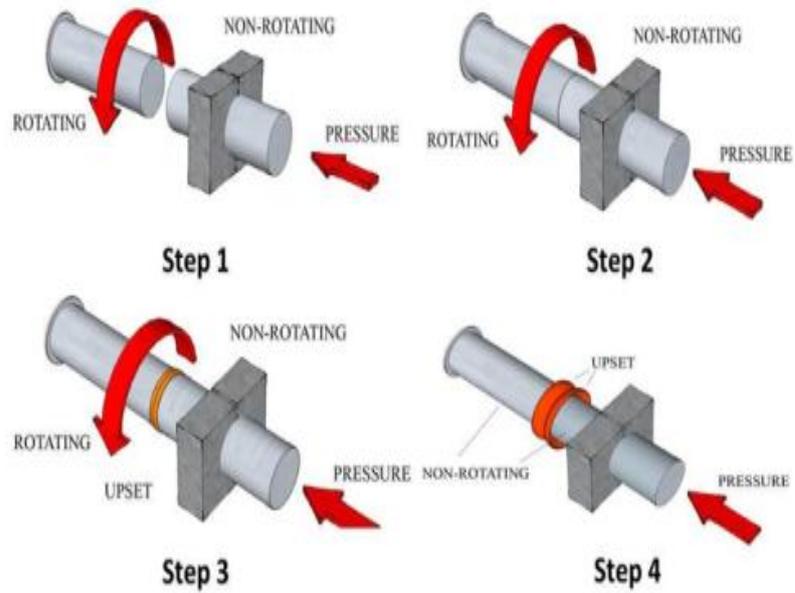
Ort / town

Datum / date  
8/30/2023

Prüfer / tester  
Aswandi

Sachverständiger / engineer

#### B.4 Skema Penyambungan Sampel



#### B.5 Data Uji kekerasan (HV)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	50	45	46	55	48	50	49	40	50
2	52	48	47	56	51	52	51	45	52
3	58	53	49	59	55	54	52	50	53
4	61	57	53	61	57	56	54	56	59
5	50	60	61	64	67	68	70	70	67
6	84	75	86	85	87	86	84	88	80
7	87	83	91	88	90	88	90	90	84
8	90	87	96	92	95	92	92	92	93
9	95	94	99	93	97	99	96	95	96

B.6 Data Sebelum Uji Tarik



**BRIN**  
BADAN RISET  
DAN INOVASI NASIONAL

**BADAN RISET DAN INOVASI NASIONAL**  
KEDEPUTIAN BIDANG INFRASTRUKTUR RISET DAN INOVASI  
DIREKTORAT PENGELOLAAN LABORATORIUM, FASILITAS RISET,  
DAN KAWASAN SAINS TEKNOLOGI  
**LABORATORIUM KEKUATAN STRUKTUR**  
KAWASAN PUSPIPEK Gd. 220 SETU - TANGERANG SELATAN 15314 BANTEN  
Telp. 08159085404 Email : lab.tks@brin.go.id

FORMULIR PENGUJIAN TARIK  
TANGGAL :

No.	NAMA BENDA UJI	DIMENSI			PANJANG AWAL Lo (mm)	PERUBAHAN PANJANG ΔL (mm)	GAYA YIELD Fy (kgf/N/kN)*	GAYA MAKSIMUM Fm (kgf/N/kN)*	KODE / MEREK	KETERANGAN
		1 (mm)	2 (mm)	3 (mm)						
1	A1 - CU 1	12,01								2300 - 30
2	2	12,02								2300 - 40
3	3	11,98								2300 - 50
4	4	11,94								2100 - 30
5	5	11,88								2100 - 40
6	6	12,03								2100 - 50
7	7	12,01								1900 - 30
8	8	12,02								1900 - 40
9	9	12,02								1900 - 50
10	10									

\*) Coret yang tidak perlu

PERALATAN UJI :

PELAKSANA :

1.

2.

CUSTOMER : Moch. Rozan, w

NO. ID :

STANDAR :

TEMPERATUR :

SAKSI :

1.

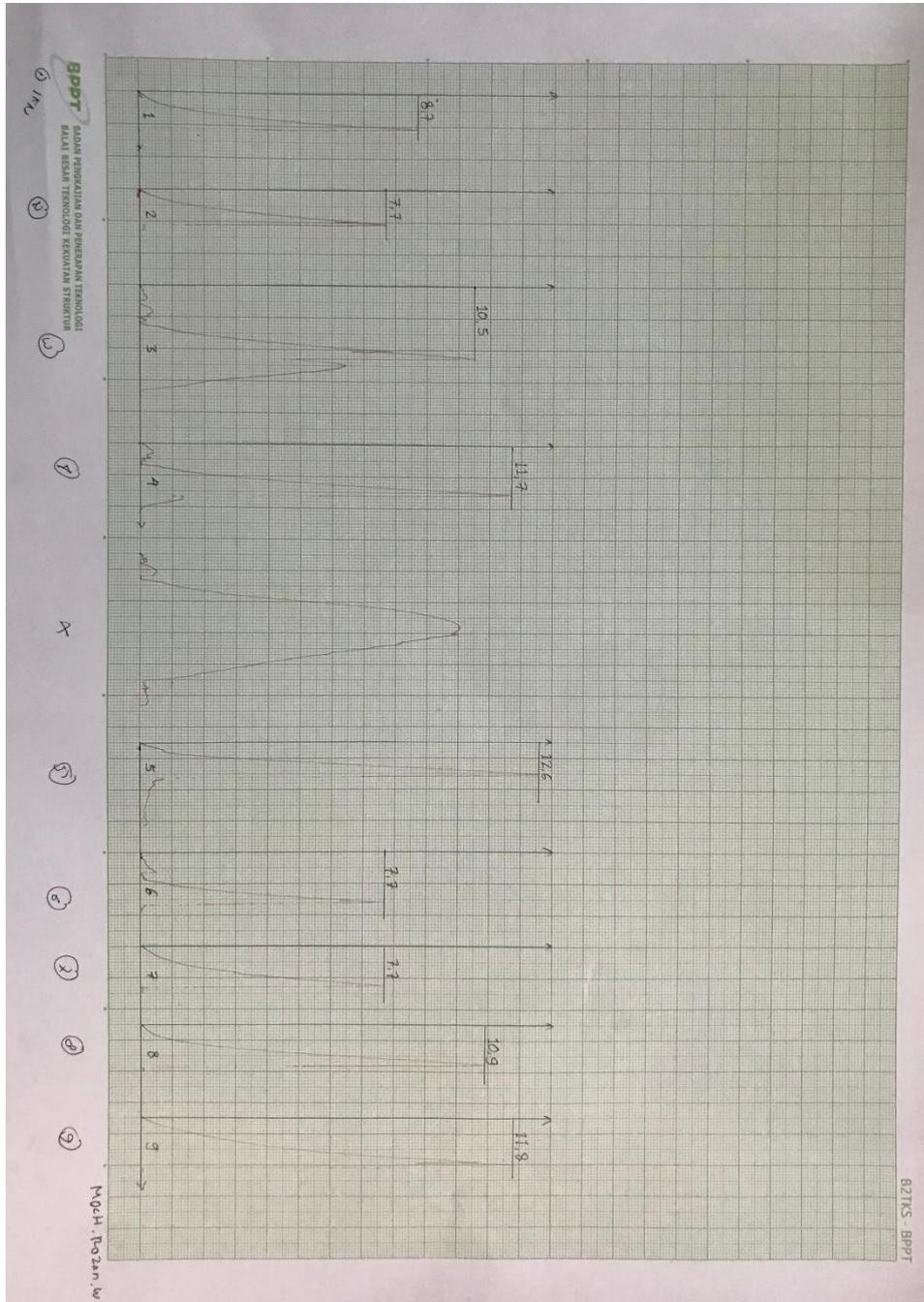
2.

3.

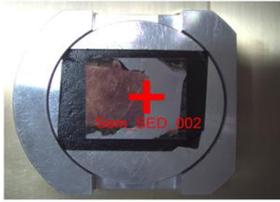
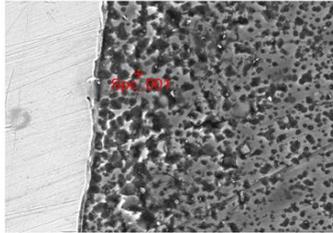
Hasil uji ini hanya representatif dari spesimen yang diuji, di luar spesimen tersebut bukan tanggung jawab Laboratorium Kekuatan Struktur.

F-TKS-LP-14

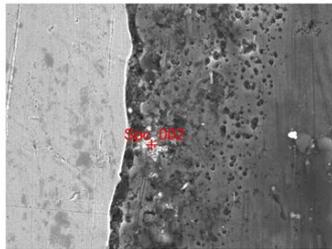
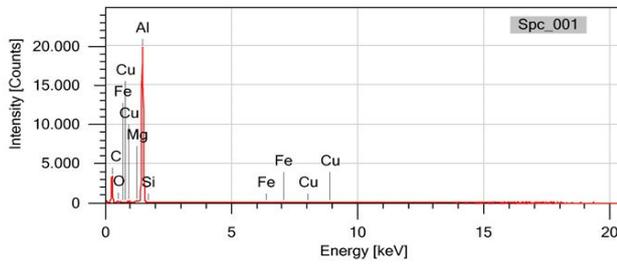
### B.7 Data Sesudah Uji Tarik



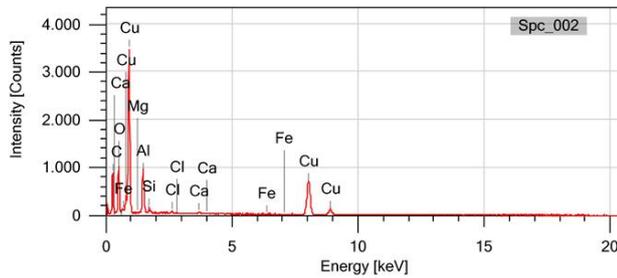
## B.8 Data SEM (scanning electron microscopy)

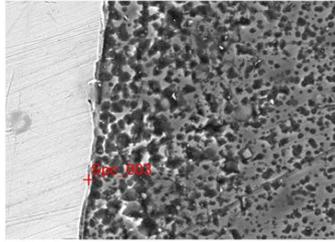


ElementLine	Mass%	Atom%
C K	63,59±0,25	79,30±0,31
O K	1,90±0,06	1,78±0,06
Mg K	0,16±0,01	0,10±0,01
Al K	33,38±0,12	18,53±0,06
Si K	0,19±0,01	0,10±0,01
Fe K	0,19±0,02	0,05±0,00
Cu K	0,59±0,04	0,14±0,01
Total	100,00	100,00
Spc_001		Fitting ratio 0,0178

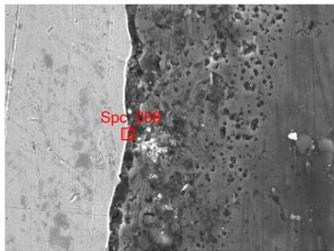
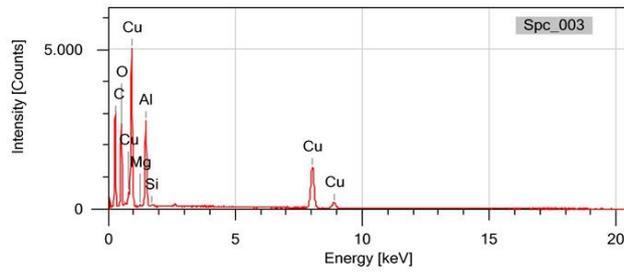


ElementLine	Mass%	Atom%
C K	35,42±0,27	58,70±0,46
O K	18,27±0,26	22,72±0,33
Mg K	0,11±0,04	0,09±0,03
Al K	8,52±0,14	6,28±0,11
Si K	0,63±0,05	0,45±0,03
Cl K	0,30±0,03	0,17±0,02
Ca K	0,34±0,03	0,17±0,02
Fe K	0,18±0,03	0,06±0,01
Cu K	36,23±0,47	11,35±0,15
Total	100,00	100,00
Spc_002		Fitting ratio 0,0635

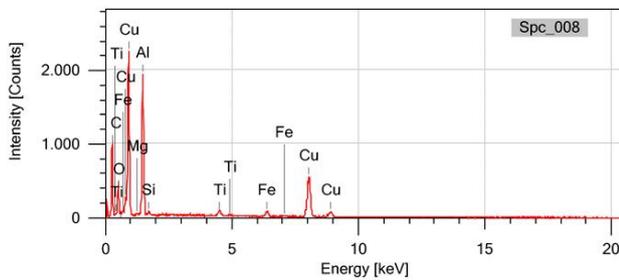


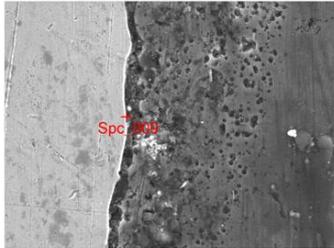


ElementLine	Mass%	Atom%
C K	42,61±0,18	62,84±0,26
O K	21,28±0,19	23,56±0,21
Mg K	0,07±0,02	0,05±0,01
Al K	9,09±0,09	5,96±0,06
Si K	0,18±0,02	0,11±0,01
Cu K	26,76±0,26	7,46±0,07
Total	100,00	100,00
Spc_003	Fitting ratio 0,0487	

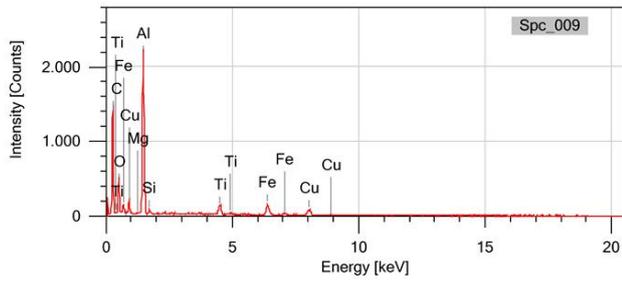


ElementLine	Mass%	Atom%
C K	44,81±0,32	69,44±0,50
O K	8,77±0,20	10,21±0,24
Mg K	0,22±0,03	0,17±0,02
Al K	15,94±0,18	11,00±0,12
Si K	0,45±0,04	0,30±0,03
Ti K	0,96±0,05	0,37±0,02
Fe K	1,67±0,08	0,56±0,03
Cu K	27,17±0,41	7,96±0,12
Total	100,00	100,00
Spc_008	Fitting ratio 0,0555	





Element	Line	Mass%	Atom%
C	K	57,18±0,34	72,77±0,44
O	K	15,86±0,32	15,16±0,31
Mg	K	0,01±0,02	0,00±0,01
Al	K	15,86±0,17	8,99±0,10
Si	K	0,34±0,03	0,19±0,02
Ti	K	2,16±0,08	0,69±0,02
Fe	K	4,12±0,13	1,13±0,04
Cu	K	4,46±0,18	1,07±0,04
Total		100,00	100,00
Spc_009		Fitting ratio 0,0789	



LAMPIRAN C  
GAMBAR ALAT DAN BAHAN

### Lampiran C. Gambar Alat dan Bahan



Gambar C.1 Bahan Aluminium dan Tembaga



Gambar C.2 Ampelas



Gambar C.3 Aquades



Gambar C.4 Etanol



Gambar C.5 gelas beker



Gambar C.6 Gelas ukur



Gambar C.7 Gerinda



Gambar C.8 Kain *Polish*



Gambar C.9 Mesin *Grinding*



Gambar C.10 mesin bubut



Gambar C.11 Mesin Uji Kekerasan



Gambar C.12 Mikroskop Optik



Gambar C.13 Pasta *Polish*



Gambar C.14 Pipet



Gambar C.15 Tisu



Gambar C.16 Alat *Friction welding*



Gambar C.17 Alat uji tarik