

## **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 pemadatan. 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	75% dirol dingin	>99,0	H18
	Dianil	Dianil	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 ditambahkan ke dalam 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 penguatan presipitasi. Fraksi volume  $Mg_2Si$  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

<b>Sifat Mekanik</b>	<b>Nilai</b>
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

<b>Unsur</b>	<b>Komposisi (%)</b>
Tembaga	0.1
Besi	0.35
Silika	0.2-0.6
Mangan	0.1
Magnesium	0.45-0.9
Zinc	0.1

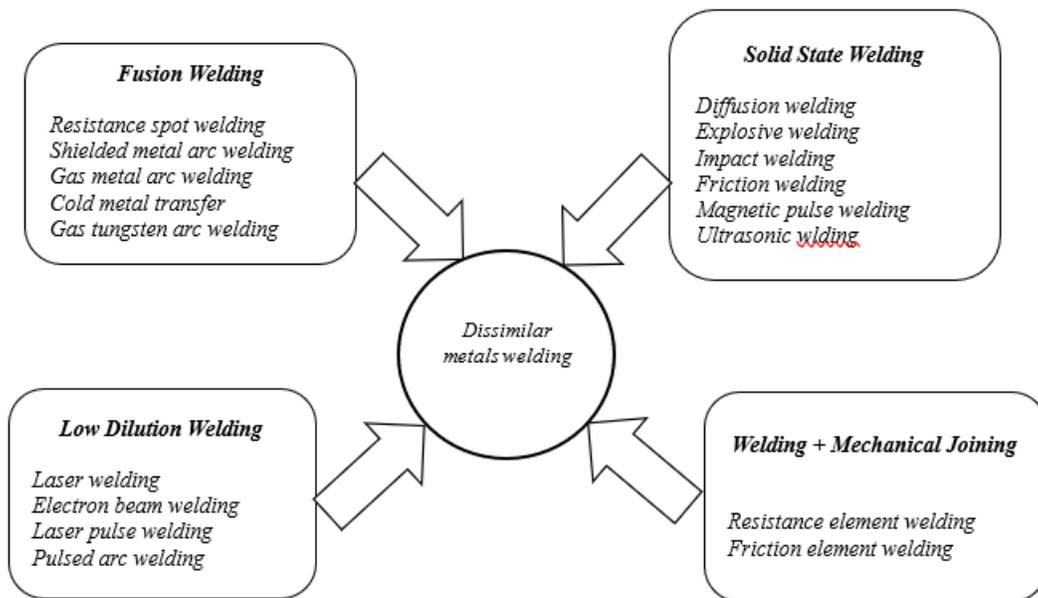
Kromium	0.1
Boron	0.06
Aluminium	98

---

### 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].

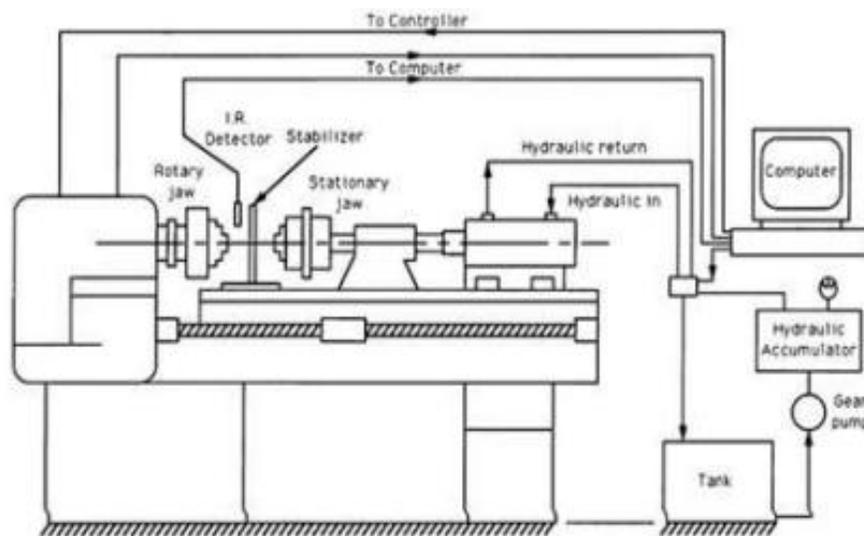
*Friction welding* mempunyai banyak kelebihan dibandingkan dengan proses pengelasan lainnya, Adapun kelebihanannya adalah sebagai berikut, Kebersihan permukaan sambungan tidak diperlukan, karena selama proses *friction welding* permukaan akan terkelupas dan terdeformasi ke bagian luar, tidak memerlukan 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].

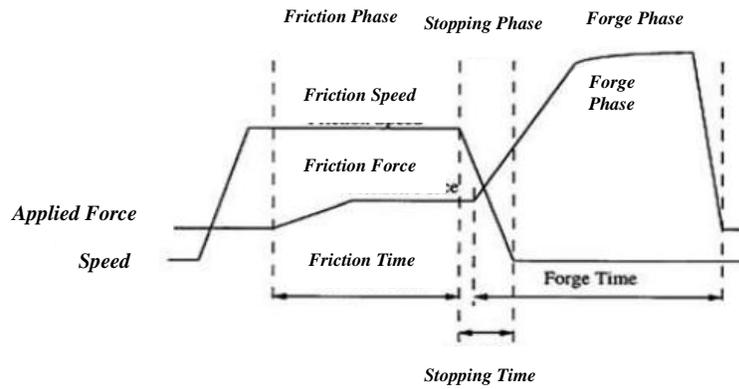
*Rotary friction welding* merupakan pengelasan yang terjadi bila salah satu benda diputar, dan benda lainnya diam. Kedua benda tersebut dipertemukan dalam kondisi salah satu benda berputar dan lainnya diam pada kondisi ini merupakan awal proses pengelasan sampai terbentuk "*flash* (mm<sup>3</sup>)". 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.

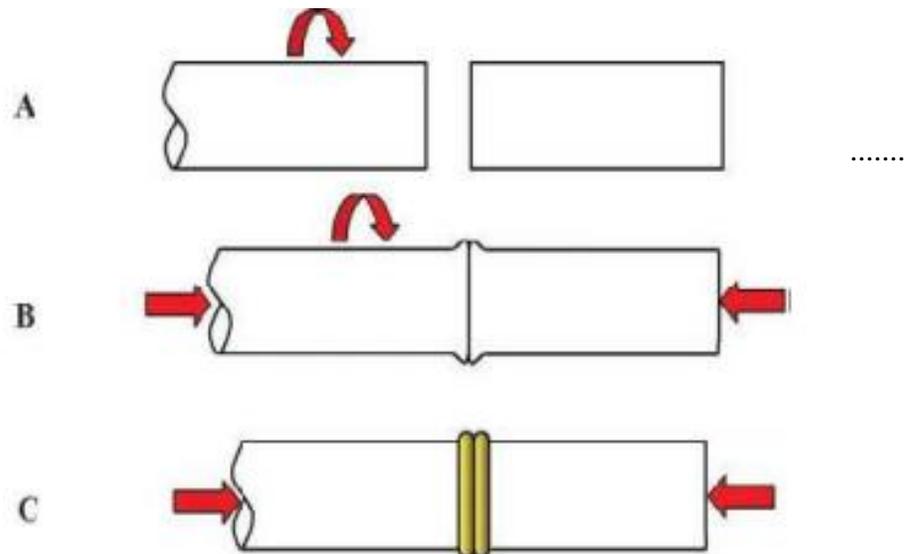
Proses *Friction welding* dengan peralatan, yang mudah dibuat. Gambaran skematis dari alat *friction welding* yang khas ditunjukkan pada Gambar 2.2 di bawah, Seorang *welder* dapat mengoperasikan alat *Friction welding* pada kondisi beban yang diterapkan berbeda, yang bergantung pada ukuran bagian dan 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]

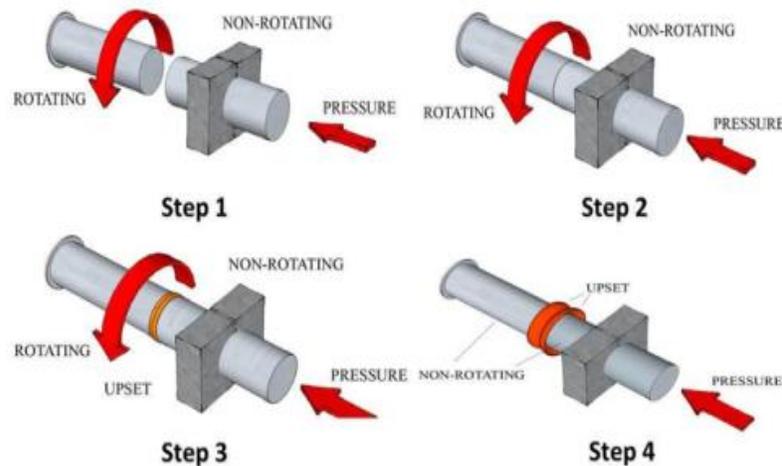


**Gambar 2.4** Skematis langkah dasar dalam proses *friction welding* [22]

*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 %.

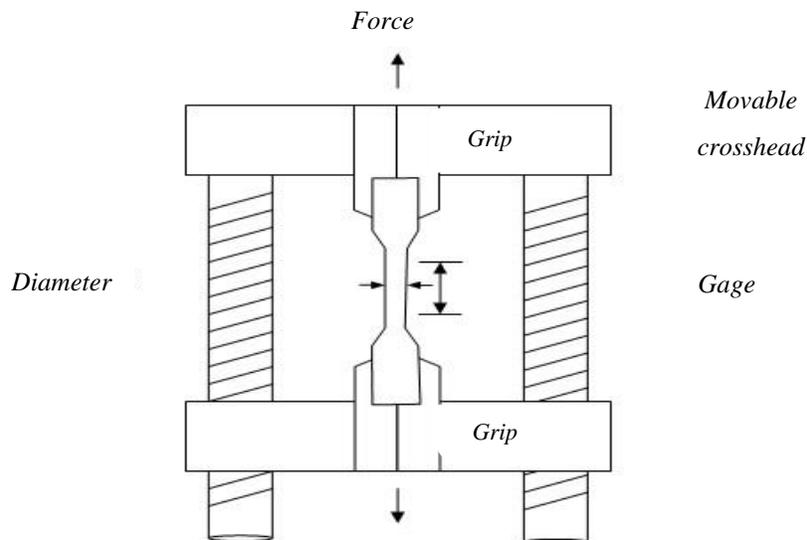
## **2.5 Pengujian Tarik**

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]



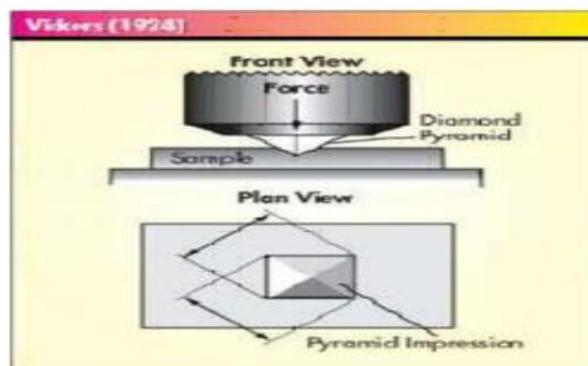
**Gambar 2.6** Skema peralatan yang digunakan dalam uji tarik [26]

## 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