

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Sebelumnya

Sebelum melakukan penelitian diperlukan tinjauan dari penelitian-penelitian sebelumnya agar memiliki dasaran yang kuat untuk mendukung dan membantu dalam penelitian ini, berikut adalah hasil dari penelitian sebelumnya.

Tyagita dkk (2014) dalam penelitiannya yang berjudul “Kekuatan Puntir dan Porositas Hasil Sambungan Las Gesek Al-Mg-Si dengan Variasi *Chamfer* dan Gaya Tekan Akhir” mendapatkan hasil bahwa kekuatan puntir tertinggi pada spesimen yang memiliki sudut *chamfer*  $15^{\circ}$  dengan gaya tekan akhir 202 kgf, dan menghasilkan kekuatan puntir 193,93 Mpa. Sedangkan untuk untuk kekuatan puntir terendahnya pada sambungan dengan sudut *chamfer*  $0^{\circ}$  serta gaya tekan akhirnya 157kgf dan menghasilkan kekuatan puntir 108,63 Mpa. Sementara itu, porositas tertinggi dengan sudut *chamfer*  $0^{\circ}$  dan gaya tekan akhirnya 157 kgf, serta nilai porositasnya 0.28 % Dan porositas terendah dengan sudut *chamfer* 150 dan *upset pressure* 202 Kgf dengan nilai porositas sebesar 0,2122%. Pada penelitian ini memvariasikan sudut *chamfer*  $0^{\circ}$ ,  $15^{\circ}$ ,  $30^{\circ}$ ,  $45^{\circ}$  Sementara *upset pressure* divariasikan 157 Kgf, 185 Kgf, dan 202 Kgf dengan *upset pressure* selama 120s dan kecepatan *spindle* 1600 rpm. sudut *chamfer* pada permukaan benda kerja menyebabkan luas kontak yang diterima kecil, gaya yang diterima benda kerja meningkatkan tekanan pada permukaan sisi kontak.peningkatan kontak itu menyebabkan pemanasan daerah las menjadi lebih cepat inilah yang mentebabkan kekuatan puntir pada sambungan las meningkat.

Santoso dkk (2012) dalam penelitiannya yang berjudul “Pengaruh Sudut *Chamfer* Dan Gaya Tekan Akhir Terhadap Kekuatan Tarik Dan Porositas Sambungan Las Gesek Pada Paduan Al-Mg-Si” dalam penelitiannya memvariasikan sudut *chamfer*  $15^{\circ}$ ,  $30^{\circ}$ ,  $45^{\circ}$ ,  $60^{\circ}$  dan  $75^{\circ}$ , dengan *upset load* 157 kgf, 185 kgf, dan 213 kgf dengan *compressive force* 123 kgf selama 120s dan *rotational speed* 1600 rpm. Dari penelitiannya didapatkan hasil kekuatan tarik tertinggi pada spesimen dengan sudut  $15^{\circ}$  dan *upset load* 213 kgf sebesar 140,45 Mpa, spesimen dengan sudur *chamfer*  $75^{\circ}$  dan *upset load* 213 kgf memiliki porositas terkecil 0,21%.

Setyawan dkk (2014) penelitiannya berjudul “Kekuatan Tarik dan Porositas Hasil Sambungan Las Gesek Aluminium 6061 dengan Berbagai Suhu Aging” memvariasikan temperature *artificial aging* 150° C, 175°C, 185°C, 200°C dan 225°C dengan *holding time* 7 jam serta *rotation speed* 1600 rpm, *compressive force* 123 kgf selama 120s, dan *upset force* 202 kgf selama 120s. Didapatkan hasil bahwa kekuatan tarik tertinggi pada spesimen dengan *precipitation hardening* pada suhu *artificial aging* 150°C sebesar 186,65 Mpa. Sedangkan kekuatan terendah sebesar 124,68 Mpa pada suhu *artificial aging* 185°C. Kemudian spesimen dengan suhu *artificial aging* 150°C memiliki porositas terendah sebesar 0,11%

Ardianto dkk (2015) dalam penelitian yang berjudul “Kekuatan Puntir dan Porositas Hasil Sambungan Las Gesek Al-Mg-Si dengan Variasi *Chamfer* dan gaya Tekan Akhir” kekuatan puntir sambungan las gesek al-mg-si dengan variasi sudut *chamfer* dua sisi dan kekasaran didapatkan bahwa Sudut *chamfer* dan kekasaran berpengaruh terhadap nilai kekuatan puntir. Nilai kekuatan puntir tertinggi terletak pada sudut *chamfer* 15° pada kekasaran 0,7 µm sebesar 163.46 MPa. Nilai kekuatan puntir terendah terletak pada sudut *chamfer* 0° pada kekasaran 1,07 µm sebesar 71.48 MPa. Kekuatan puntir dipengaruhi oleh besar kecilnya daerah *fully plasticized Zone (Zpl)*, *Partly deformed Zone (Zpd)* atau HAZ, *Undeformed Zone (Zud)*, *Porosity Zone (Zpr)*.

## 2.2 Aluminium

Aluminium pertama kali ditemukan pada tahun 1809 oleh Sir Humphrey Davy yang menjadikannya suatu unsur, dan pada tahun 1825 direduksi sebagai logam oleh H. C. Oersted. Kemudian pada tahun 1886 oleh Paul Heroult di perancis serta C. M. Hall di Amerika memperoleh logam aluminium dan alumina dengan cara elektrolisa dari garamnya yang terfusi. Aluminium merupakan logam ringan yang mempunyai ketahanan korosi yang cukup baik serta hantaran listrik yang baik juga dan sifat lainnya sebagai sifat logam (Surdia 1999 : 129).

Aluminium merupakan logam yang paling banyak digunakan setelah baja. Karakteristik utamanya adalah ringan (berat jenis = 2,7 gr/cm<sup>3</sup>) dibandingkan dengan baja (berat jenis = 7,8 gr/cm<sup>3</sup>), memiliki konduktifitas yang tinggi ketahanan korosi yang baik, serta memiliki keuletan yang cukup tinggi. Berdasarkan sifat mekanik yang dimilikinya material ini banyak digunakan dalam bidang yang luas bukan saja peralatan rumah tangga, tapi juga dipakai untuk keperluan material kelling, pesawat terbang, mobil, kapal laut, dan konstruksi.

### 2.2.1 Sifat-sifat aluminium paduan tempa

Tabel 2.1  
Daftar seri aluminium paduan tempa

| No. Seri | Komposisi Paduan                   | Ketahanan terhadap korosi | Kekuatan relatif | Perlakuan panas           |
|----------|------------------------------------|---------------------------|------------------|---------------------------|
| 1xxx     | Aluminium murni                    | <i>Excellent</i>          | <i>Fair</i>      | <i>Non heat treatable</i> |
| 2xxx     | Paduan aluminium tembaga           | <i>Fair</i>               | <i>excellent</i> | <i>Heat treatable</i>     |
| 3xxx     | Paduan aluminium-mangan            | <i>Good</i>               | <i>Fair</i>      | <i>Non heat treatable</i> |
| 4xxx     | Paduan aluminium silicon           | -                         | -                | <i>Varies by alloy</i>    |
| 5xxx     | Paduan aluminium magnesium         | <i>Good</i>               | <i>Good</i>      | <i>Non heat treatable</i> |
| 6xxx     | Paduan aluminium magnesium silicon | <i>Good</i>               | <i>Good</i>      | <i>Heat treatable</i>     |
| 7xxx     | Paduan aluminium seng              | <i>Fair</i>               | <i>Excellent</i> | <i>Heat treatable</i>     |

Sumber: kissel, Aluminium structure (2002,p.14)

Tabel 2.2  
Sifat mekanik base material

| Material  | Proof stress Mpa | Tensile Stress Mpa | Elongation % | Vickers hardness HV |
|-----------|------------------|--------------------|--------------|---------------------|
| A1050-H14 | 97               | 98                 | 22.0         | 37                  |
| A2011-T3  | 318              | 399                | 16.2         | 137                 |
| A2017-T4  | 276              | 446                | 20.4         | 145                 |
| A2024-T4  | 429              | 578                | 13.0         | 146                 |
| A5052-H34 | 254              | 259                | 19.0         | 94                  |
| A5056-H34 | 223              | 332                | 22.2         | 100                 |
| A6061-T6  | 284              | 301                | 18.8         | 110                 |
| A6063-T5  | 125              | 160                | 31.0         | 64                  |
| A7075-T6  | 597              | 646                | 19.6         | 190                 |

Sumber: G. Kawai dkk (2000)

1. Aluminium murni (seri 1000)

Aluminiu murni merupakan aluminium dengan kemurnian antara 99,0% dan 99,9%. Aluminium seri ini memiliki sifat yang baik dalam ketahanan korosi, konduksi panas dan konduksi listrik, dan mempunyai sifat mampu las serta mampu potong dibandingkan dengan aluminium lainnya. Kekurangan dari aluminium seri ini adalah kekuatannya yang rendah.

2. Jenis paduan Al – Cu (seri 2000)

Jenis Al – Cu merupakan paduan yang dapat diperlaku – panaskan. Dengan melalui pengerasan endap atau penyepuhan sifat mekanik paduan ini dapat menyamai baja lunak, tetapi daya tahan korosinya rendah dibanding dengan jenis paduan lainnya serta sifat mampu lasnya kurang baik. Karena sifatnya, paduan jenis ini biasanya digunakan pada konstruksi keling dan banyak sekali digunakan dalam konstruksi pesawat terbang

3. Paduan Al – Mn (seri 3000)

Merupakan paduan yang tidak dapat diperlaku – panaskan sehingga penaikan kekuatannya hanya dapat diusahakan melalui pengerjaan dingin dalam proses pembuatannya. Jika dibandingkan dengan Al – murni paduan ini mempunyai sifat yang sama dalam hal daya tahan korosi, mampu potong dan sifat mampu lasnya. Dalam hal kekuatannya jenis paduan ini lebih unggul dari pada jenis Al – murni.

4. Paduan Al-Si (seri 4000)

Merupakan paduan yang tidak dapat diperlaku – panaskan. Jenis ini dalam keadaan cair mempunyai sifat mampu alir yang baik dan dalam proses pembekuannya hampir tidak terjadi retak. Paduan jenis Al-Si banyak digunakan sebagai bahan atau logam las dalam pengelasan paduan aluminium paduan cor maupun paduan tempa.

5. Paduan Al-Mg (seri 5000)

Merupakan paduan yang tidak dapat diperlaku – panaskan, tetapi mempunyai sifat yang baik dalam daya tahan korosi, terutama korosi oleh air laut, dan dalam sifat mampu – lasnya. Paduan jenis ini banyak digunakan dalam konstruksi, tangki penyimpanan gas alam cair dan oksigen cair.

6. Paduan Al-Mg-Si (seri 6000)

Paduan ini termasuk dalam jenis yang dapat diperlaku – panaskan dan mempunyai sifat mampu potong, mampu las dan daya tahan korosi yang cukup. Sifat yang kurang baik dari paduan ini adalah terjadinya pelunakan pada daerah las sebagai akibat dari panas pengelasan yang timbul.

## 7. Paduan Al-Zn (seri 7000)

Paduan ini termasuk jenis yang dapat diperlaku – panaskan. Biasanya ke dalam paduan pokok Al-Zn ditambahkan Mg, Cu, dan Cr. Kekuatan tarik yang dapat dicapai lebih dari 50 kg/mm<sup>2</sup>. Berlawanan dengan kekuatan tariknya, sifat mampu-las dan daya tahannya terhadap korosi kurang menguntungkan. Dalam waktu akhir – akhir ini paduan Al-Zn-Mg mulai banyak digunakan dalam konstruksi las, karena jenis ini mempunyai sifat mampu las dan daya tahan korosi yang lebih baik dari pada paduan dasar Al-Zn.

(Wiryo Sumarto, 2000)

### 2.2.2 Paduan Al – Mg – Si

Paduan Aluminium – Magnesium – Silicon merupakan paduan yang dapat diberi perlakuan panas dan mempunyai sifat mampu - potong, mampu las, dan daya tahan korosi yang cukup (Wiryo Sumarto, 2000).

Tabel 2. 3

Komposisi Kimia Al – Mg - Si

| Al (%)    | Cr (%)    | Cu (%)   | Fe (%) | Mg (%)   | Mn (%) | Si (%)  | Ti (%) | Zn (%) |
|-----------|-----------|----------|--------|----------|--------|---------|--------|--------|
| 95.8-98.6 | 0.04-0.35 | 0.15-0.4 | 0.7    | 0.8-0.12 | 0.15   | 0.4-0.8 | 0.15   | 0.25   |

Sumber : ASM Aero Space Metal Inc.

Tabel 2. 4

Sifat Mekanik Paduan Al – Mg - Si

| Keadaan | Kekuatan tarik (kgf/mm <sup>2</sup> ) | Kekuatan mulur (kgf/mm <sup>2</sup> ) | Perpanjangan (%) | Kekuatan geser (kgf/mm <sup>2</sup> ) | Kekerasan brinell | Batas leleh (kgf/mm <sup>2</sup> ) |
|---------|---------------------------------------|---------------------------------------|------------------|---------------------------------------|-------------------|------------------------------------|
| 0       | 12,6                                  | 5,6                                   | 30               | 8,4                                   | 30                | 6,3                                |
| T4      | 24,31                                 | 14,8                                  | 28               | 16,9                                  | 65                | 9,5                                |
| T6      | 31,6                                  | 28,0                                  | 15               | 21,0                                  | 95                | 9,5                                |

Sumber : Surdia (1999,p.140)

Pada penelitian pengelasan gesek ini aluminium yang digunakan adalah aluminium 6061-T6. Dimana pada tabel 2.3 dapat dilihat bahwa unsur Al, Mg, dan Si adalah unsur yang dominan pada aluminium 6061. Kemudian pada tabel 2.4 menunjukkan sifat mekanik pada paduan A6061 yang dapat digunakan sebagai acuan yang berisikan kekuatan tarik serta kekerasan yang dimiliki pada aluminium A6061-T6.

## 2.3 Baja

Baja merupakan logam paduan dengan unsur besi dengan karbon sebagai unsur paduan utamanya. Kandungan unsur karbon dalam baja berada di antara 0.2% hingga 2.1% sesuai gradenya. Adanya karbon pada baja adalah sebagai unsur penguat untuk mencegah dislokasi bergeser pada kisi kristal (*crystal lattice*) atom besi. unsur paduan lain yang biasa ditambahkan selain karbon adalah titanium, krom, nikel, vanadium, kobalt dan tungsten (wolfram). Dengan memvariasikan kandungan karbon dan unsur paduan lainnya, berbagai jenis kualitas baja bisa didapatkan. Penambahan kandungan karbon pada baja dapat meningkatkan kekerasan (*hardness*) dan kekuatan tariknya (*tensile strength*), namun di sisi lain membuatnya menjadi getas (*brittle*) serta menurunkan keuletannya (*ductility*). Klasifikasi baja menurut kandungan karbon dibagi menjadi tiga macam, yaitu:

### 1. Baja karbon rendah

Baja karbon rendah mengandung karbon dalam campuran baja kurang dari 0,3%C. Baja ini tidak dapat dikeraskan karena kandungan karbon yang tidak cukup untuk

### 2. Baja Karbon Sedang

Baja karbon sedang mengandung karbon 0,3%C-0,6%C. Dengan kandungan karbon seperti itu baja ini bisa dikeraskan melalui proses perlakuan panas yang sesuai.

### 3. Baja Karbon Tinggi

Baja Karbon Tinggi memiliki kandungan karbon antara 0,6%C-1,5%C dan memiliki kekerasan yang lebih tinggi tetapi keuletannya lebih rendah, penguatan dengan perlakuan panas pada baja karbon tinggi tidak memberikan hasil yang optimal karena terlalu banyaknya struktur martensit, sehingga membuat baja menjadi getas.

Sedangkan baja paduan terdiri dari:

### 1. Baja Paduan Rendah (*Low alloy steel*)

Baja paduan rendah merupakan baja paduan yang elemen paduannya kurang dari 2,5% wt, misalnya unsur Cr, Mn, Ni, S, Si, P dan lain-lain

### 2. Baja Paduan Menengah (*Medium Alloy Steel*)

Baja paduan menengah merupakan baja paduan yang elemen paduannya 2,5%-10% wt, misalnya unsur Cr, Mn, Ni, S, Si, P dan lain-lain.

### 3. Baja Paduan Tinggi (*High Alloy Steel*)

Baja paduan tinggi merupakan baja paduan yang elemen paduannya lebih dari 10% wt, misalnya unsur Cr, Mn, Ni, S, Si, P dan lain-lain

### 2.3.1 Baja St 41

Baja St 41 merupakan baja karbon rendah yang memiliki gaya tarik maksimal 41 kg/mm<sup>2</sup>, baja St 41 memiliki kandungan karbon antara 0,025% - 0,25% C. Baja St 41 memiliki nilai kekerasan yang lebih rendah dibandingkan dengan besi cor, karena adanya *perlit* dan *ferit* dan *perlit* yang dikandung lebih banyak daripada *ferit*. Aplikasi penggunaan baja St 41 adalah untuk paku, *wire mesh*, kawat, peralatan otomotif dan bahan baku *welded fabrication*, kawat elektroda berlapis untuk keperluan pengelasan. Komposisi unsur-unsur yang dikandung pada baja akan memberikan reaksi yang berbeda-beda pada saat baja mengalami proses perlakuan panas (*heat treatment*).

Tabel 2.5  
Komposisi Kimia Baja St 41

| Series | Fe (%)          | C (%)         | Si (%)        | Mn (%)  | P (%) | S (%) |
|--------|-----------------|---------------|---------------|---------|-------|-------|
| St 41  | 98,81-<br>99,26 | 0,13-<br>0,18 | 0,15-<br>0,35 | 0,5-0,7 | 0,050 | 0,011 |

Sumber: Ross (1992)

Tabel 2.6  
Sifat Mekanik Baja St 41

| Hardness Brinell | Hardness Vickers | Tensile strength Ultimate | Tensile strength Yield | Elongation at break (in 50 mm) | Reduction of area | Modulus elasticity | Bulk modulus | Shear modulus | Poissons ration |
|------------------|------------------|---------------------------|------------------------|--------------------------------|-------------------|--------------------|--------------|---------------|-----------------|
| 126              | 131              | 440 Mpa                   | 370 Mpa                | 15.0%                          | 40.0%             | 205 Gpa            | 140 Gpa      | 80.0 Gpa      | 0.290           |

Sumber: AZO materials

## 2.4 Pengelasan

### 2.4.1 Pengertian pengelasan

Las (*welding*) merupakan suatu cara untuk menyambungkan benda padat dengan cara mencairkannya atau melumerkan melalui pemanasan. Berdasarkan definisi dari DIN (*Deutche Industrie Normen*) las merupakan sambungan setempat dari beberapa logam dengan menggunakan energi panas. serta dapat disimpulkan bahwa untuk terjadinya pengelasan membutuhkan energi untuk melumerkan atau mencairkan suatu logam agar dapat di las. (Wiryosumarto 2000 : 1)

### 2.4.2 Klasifikasi Pengelasan

Dari cara kerjanya pengelasan dibagi dalam tiga kelas utama, yaitu :

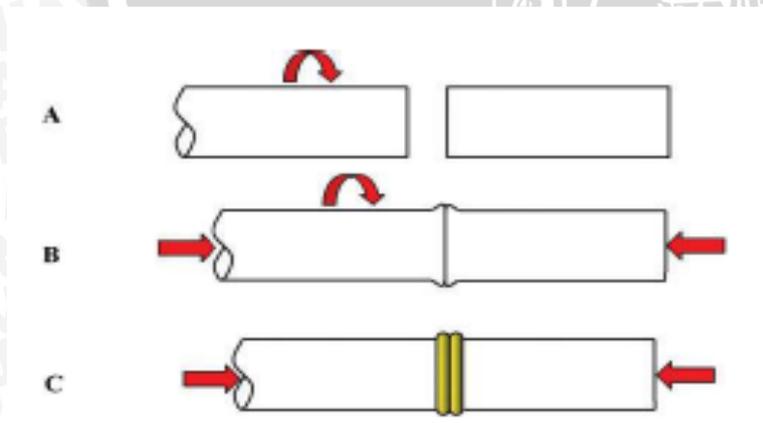
1. Pengelasan cair adalah cara pengelasan dimana sambungan dipanaskan sampai mencair dengan sumber panas dari busur listrik atau semburan api gas yang terbakar.
2. Pengelasan tekan adalah cara pengelasan dimana sambungan dipanaskan dan kemudian ditekan hingga menjadi satu.
3. Pematrian adalah cara pengelasan di mana sambungan diikat dan disatukan dengan menggunakan paduan logam yang mempunyai titik cair rendah. (Wiryosumarto, 2000)

### 2.5 Las Gesek (*Friction Welding*)

Proses penyambungan logam dalam kondisi padat tanpa pencairan (*solid state process*) yang mana panas yang dihasilkan saat pengelasan dihasilkan oleh laju putaran salah satu benda kerja dengan gaya tekan yang dilakukan pada benda kerja yang berputar. dari dua permukaan yang bersentuhan menghasilkan panas yang dapat memanaskan antara logam sehingga terjadilah pengelasan. Secara garis besar pengelasan gesek dibagi menjadi dua yaitu :

1. *Continous Drive Friction Welding*

Las gesek yang sumber panasnya berasal dari gesekan kedua permukaan benda kerja itu sendiri.

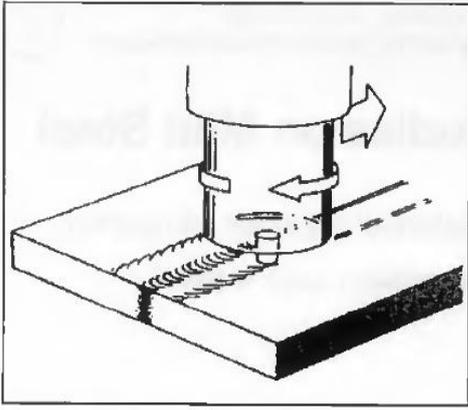


Gambar 2.1 Skema *Continous Drive friction welding*

Sumber : Maleekian (2007)

2. *Friction Stir Welding*

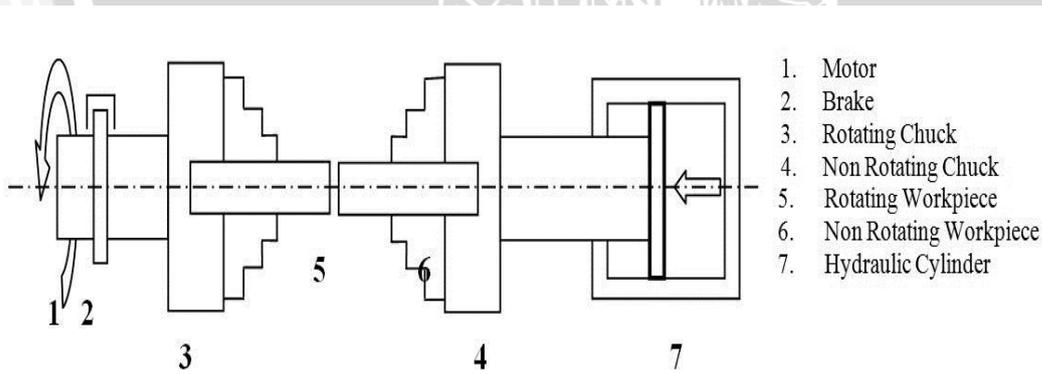
Las gesek dengan sumber panas yang dihasilkan dari gesekan antara pahat (*Tools*) berputar dan ditekan pada material benda kerja yang akan disatukan.



Gambar 2.2 Skema friction Stir welding  
 Sumber : Lienart (2003)

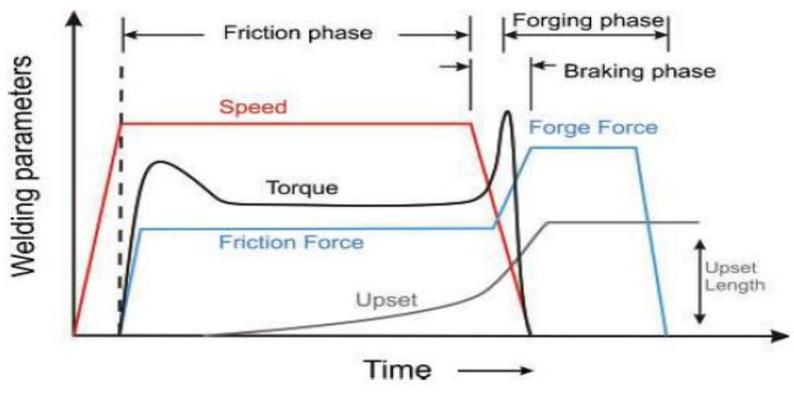
### 2.5.1 Continous Drive Friction Welding (CDFW)

Las gesek merupakan pengelasan dengan memanfaatkan panas yang berasal dari gesekan langsung dari benda itu sendiri dimana salah satu benda kerja diputar dan satunya diam dan menekan. Mekanisme proses ini adalah ketika salah satu benda diputar dengan kecepatan tinggi dan salah satu benda yang lain menekan benda yang berputar tersebut. Akibat dari penekanan tersebut timbul panas sehingga partikel dari dua logam dapat saling berikatan dan perputaran yang terjadi mengakibatkan partikel dari dua benda tersebut tercampur. Sedangkan penekanan menyebabkan partikel terdorong mengisi celah-celah kosong sekaligus mengeluarkan udara dan proses ini menghasilkan proses penyambungan logam tanpa pencairan atau yang dinamakan *solid state process*.



Gambar 2.3 Continous Drive Friction Welding  
 Sumber : Sahin (2006)

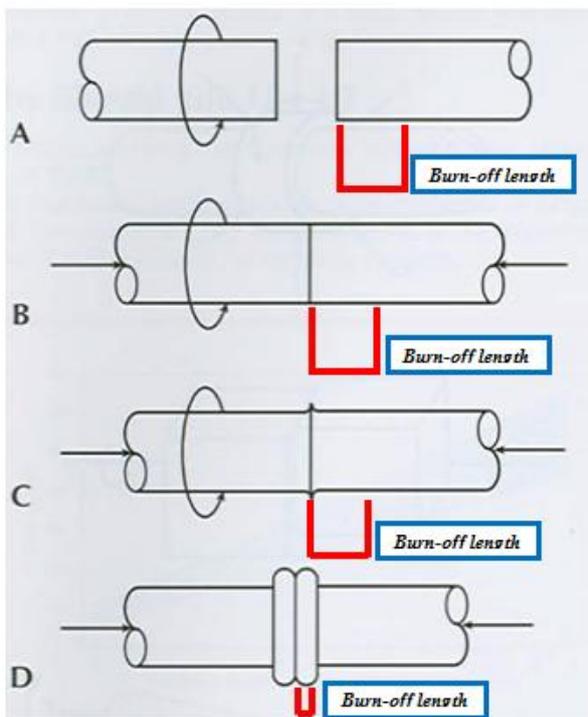
Ketika melakukan proses *friction welding* terdapat beberapa parameter yang harus diperhatikan saat proses penyambungan, terutama parameter waktu dan gaya tekan yang diberikan ketika proses pengelasan.



Gambar 2.4 parameter dalam *continous drive friction welding*  
Sumber: Maleekian (2007)

## 2.6 Burn-off length

*Burn-off length* merupakan salah satu parameter dalam *friction welding* dimana panjang dari suatu material sudah ditentukan pada salah satu sisi, dan panjang material tersebut mengalami pemendekan akibat dari gesekan proses *friction welding* antara material yang ditekan dan material yang diputar serta hasil pemendekan dapat dilihat dalam bentuk *flash* yang terjadi. Dari dua material yang bergesekan tersebut menimbulkan panas sehingga dapat menyambung antara material yang berputar pada *chuck* yang terdapat pada mesin bubut dan pada material yang di beri gaya tekan. (bhamji, 2011)



Gambar 2.5 *burn-off length* pada spesimen

$$T_p = L_0 - L \dots\dots\dots (2 - 1)$$

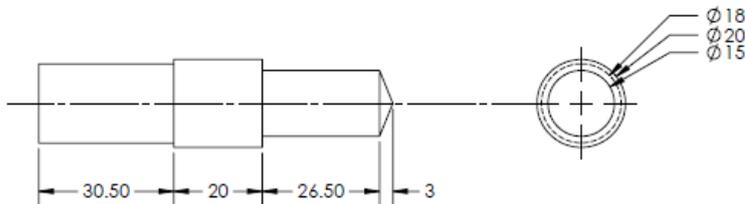
Dengan :

$T_p$  = Total Pemendekan (mm)

$L_0$  = Panjang benda uji sebelum di las (mm)

$L$  = Panjang benda uji akhir setelah di las (mm)

Geometri kerucut satu sisi merupakan spesimen yang berada pada chuck 2 (diam) yang berbentuk kerucut yang akan dijadikan variasi pada pengelasan gesek dengan tinggi yang berbeda-beda yaitu 0 mm, 1 mm, 2 mm, 3 mm. pada pengelasan gesek ini geometri kerucut terletak pada material baja St 41.



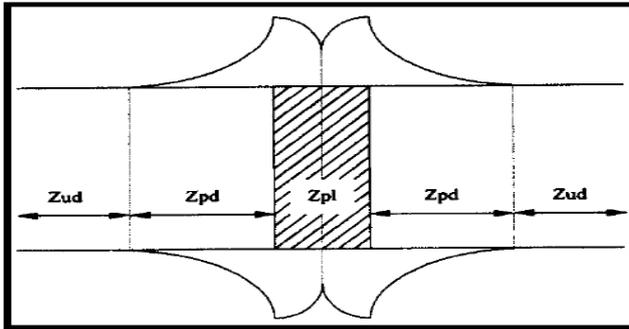
Gambar 2.6 Geometri kerucut satu sisi dengan tinggi 3 mm

## 2.7 Daerah *Heat Affected Zone* (HAZ)

Daerah HAZ adalah daerah yang terpengaruh panas saat proses pengelasan. Struktur mikro dan sifat mekanisnya dapat berubah dari keadaan sebelumnya karena adanya panas.

Daerah HAZ pada pengelasan gesek dibagi menjadi 3 bagian yaitu daerah *fully plasticized region* (zpl) yaitu daerah sambungan yang menyatu sempurna, *partly deformed region* (zpd) yaitu daerah yang mengalami panas sebagian, *undeformed region* (zud) yaitu daerah yang tidak terpengaruh panas.

Semakin besar panas yang ditimbulkan akan menyebabkan daerah HAZ yang terbentuk juga akan semakin besar, hal ini akan mempengaruhi kekuatan dari sambungan las yang terbentuk dari hasil pengelasan.

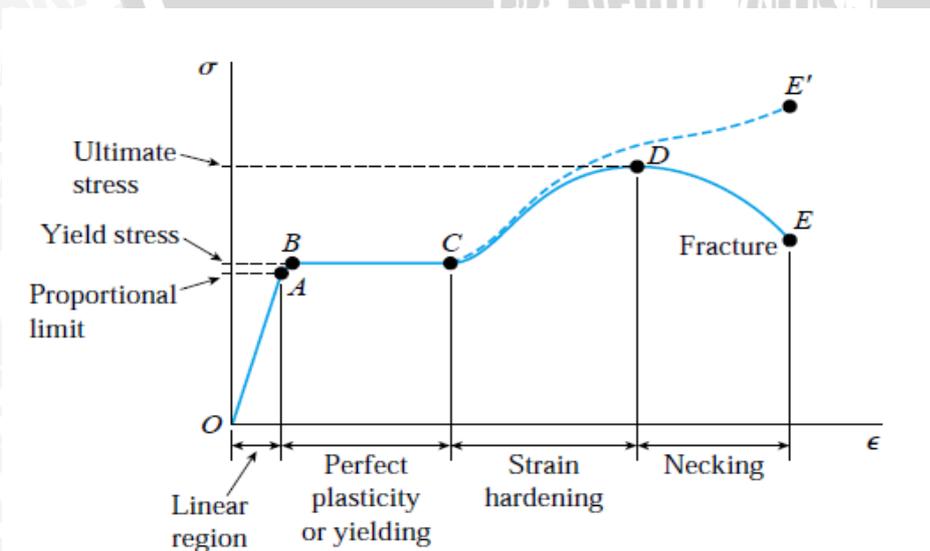


Gambar 2.7 Daerah  $z_{pl}$ ,  $z_{pd}$  dan  $z_{ud}$   
 Sumber : Lin dkk (1999)

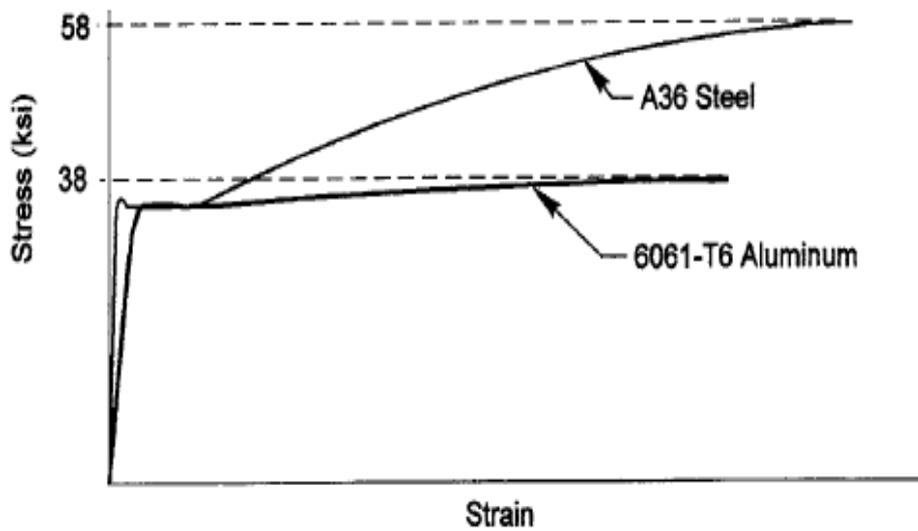
## 2.8 Pengujian Tarik

Pengujian tarik merupakan cara umum untuk mengetahui sifat mekanik dari material ketika mendapatkan tegangan tarik. Pengujian tarik pada hasil sambungan las perlu dilakukan untuk mengetahui apakah kekuatan tarik sambungan las mempunyai nilai yang sama, lebih rendah atau lebih tinggi dibandingkan dengan kekuatan tarik dari material itu sendiri. Sebelum dilakukan pengujian tarik, spesimen hasil las di bentuk mengikuti standard spesimen uji tarik.

Pembebanan tarik adalah pembebanan yang diberikan kepada benda uji dengan memberikan gaya tarik berlawanan arah pada salah satu ujungnya. Pada pengujian tarik diberikan beban statik yang meningkat secara perlahan sampai spesimen akhirnya patah. Selama pembebanan dilakukan mesin perekam pertambahan beban dan perpanjangan spesimen dalam bentuk grafik. Grafik ini kemudian dikonversi ke dalam grafik tegangan dan regangan (Dieter, 1990).



Gambar 2.8 Grafik hubungan tegangan – regangan baja karbon rendah  
 Sumber : Gere J. M., Mechanics Of Material Sixth Edition



Gambar 2.9 Grafik hubungan tegangan – regangan aluminium A6061-T6  
 Sumber : kissel, Aluminium structure (2002,p.122)

Secara skematik tegangan tarik pada material dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\sigma_{max} = \frac{F_{max}}{A_o} (N/mm^2) \dots \dots \dots (2 - 2)$$

Dengan :

$\sigma$  = Tegangan tarik maksimum ( $N/mm^2$ )

$F_{max}$  = Beban tarik maksimum (N)

$A_o$  = Luas penampang spesimen mula ( $mm^2$ )

Sedangkan regangan (persentase pertambahan panjang) pada saat itu dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\epsilon = \frac{(L-L_o)}{L_o} \times 100\% \dots \dots \dots (2 - 3)$$

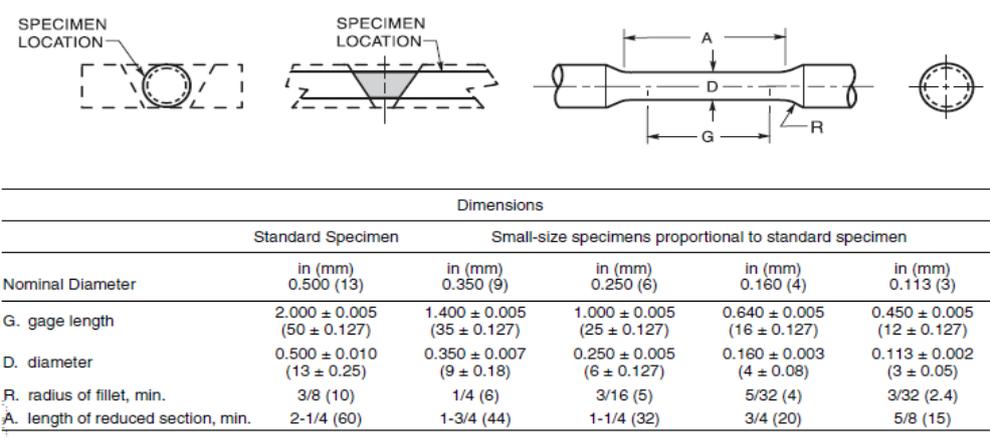
Dengan :

$\epsilon$  = Regangan (%)

$L_o$  = Panjang batang uji mula (mm)

$L$  = Panjang batang uji akhir (mm)





Gambar 2.10 Spesimen Uji Tarik  
Sumber : AWS B4 (2007,p.6)

**2.8 Pengujian Porositas**

Pengujian porositas dapat dilakukan dengan uji piknometri. Dimana Piknometri adalah sebuah proses pengujian berat jenis dari sebuah material dengan cara membandingkan beratnya ketika sampel itu berada di udara dan ketika sampel itu berada di dalam air. Kemudian dalam perhitungan porositas menggunakan perbandingan dua macam densitas, yaitu *True Density* dan *Apparent Density*.

- *True density* : Kepadatan dari suatu benda tanpa porositas yang terdapat di dalamnya, didefinisikan sebagai perbandingan terhadap volume sebenarnya (gr/cm<sup>3</sup>).
- *Apparent density* : Berat setiap unit volume material termasuk cacat yang terdapat dalam material (gr/cm<sup>3</sup>)

Untuk dapat menghitung prosentase porositas yang terjadi dapat diketahui melalui perbandingan *apparent density* dan *True Density* dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\% P = ( 1 - \frac{\rho_s}{\rho_{th}} ) \times 100\% \dots\dots\dots (2 - 4)$$

Dengan :

- %P: prosentase porositas (%)
- $\rho_s$  : *apparent density* (gr/cm<sup>3</sup>)
- $\rho_{th}$  : *true density* (gr/cm<sup>3</sup>)

Untuk memperoleh nilai *true density* dapat dicari dengan menggunakan persamaan yang ada pada standar ASTM E 252-84, yaitu:



$$p_{th} = \frac{100}{\left\{ \left( \frac{\%al}{\rho_{al}} \right) + \left( \frac{\%cu}{\rho_{cu}} \right) + \left( \frac{\%fe}{\rho_{fe}} \right) + \left( \frac{\%etc}{\rho_{etc}} \right) \right\}} + \frac{100}{\left\{ \left( \frac{\%Fe}{\rho_{Fe}} \right) + \left( \frac{\%Mn}{\rho_{Mn}} \right) + \left( \frac{\%Si}{\rho_{Si}} \right) + \left( \frac{\%etc}{\rho_{etc}} \right) \right\}} \dots\dots\dots(2 - 5)$$

Dengan :

$P_{th}$  : *true density dissimilar metal* (gr/cm<sup>3</sup>)

$\rho_{al}$   $\rho_{cu}$   $\rho_{fe}$  etc : densitas unsur (gr/cm<sup>3</sup>)

%<sub>al</sub> %<sub>cu</sub> %<sub>fe</sub> etc : presentase berat unsur aluminium (%)

$\rho_{fe}$   $\rho_{mn}$   $\rho_{si}$  etc : densitas unsur (gr/cm<sup>3</sup>)

%<sub>fe</sub> %<sub>mn</sub> %<sub>si</sub> etc : presentase berat unsur baja (%)

Sedangkan untuk perhitungan *apparent density*, menggunakan persamaan sesuai karakter struktur ASTM B311-93 sebagai berikut:

$$\rho_s = \rho_w \left( \frac{W_s}{(W_s - W_{sb})} \right) \dots\dots\dots(2 - 6)$$

Dengan :

$\rho_s$  : *apparent density* (gr/cm<sup>3</sup>)

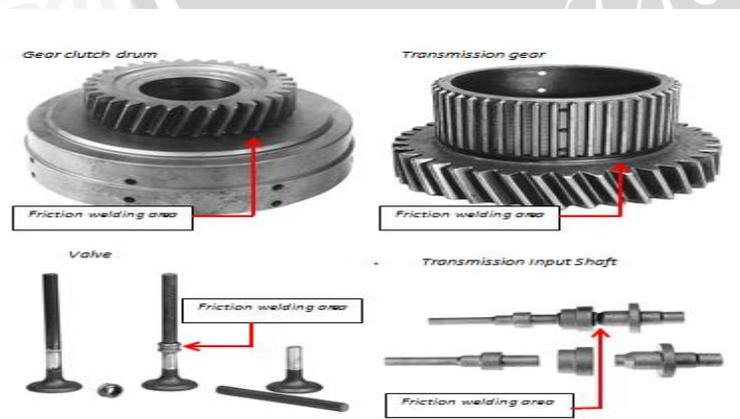
$\rho_w$  : densitas air (gr/cm<sup>3</sup>)

$W_s$  : berat sampel di udara (gr)

$W_{sb}$  : berat sampel dan keranjang didalam air (gr)

### 2.9 Aplikasi penggunaan *friction welding*

Hasil dari *friction welding* sudah banyak diterapkan atau dipergunakan di berbagai macam bidang permesinan dan part dari sebuah mesin seperti dalam dunia industri pertanian, otomotif, pesawat, transportasi dan militer. Kemudian pengelasan gesek dapat di pergunakan pada bagian-bagian yang berbentuk silinder pejal maupun silinder berongga.



Gambar 2.11 Aplikasi *Friction Welding*  
 Sumber : MTI Welding (2016)



## 2.10 Hipotesis

Berdasarkan teori dan beberapa penelitian sebelumnya dapat ditarik hipotesa Bahwa tinggi kerucut satu sisi dan *burn-off length* pada pengelasan gesek beda material antara Aluminium A6061 dengan Baja St 41 dapat mempengaruhi kekuatan tarik dan porositasnya. Dengan variasi ini tentunya akan mempengaruhi masukan panasnya (*heat input*) dan akan mempengaruhi luas daerah HAZ (*Heat Affected Zone*), dimana semakin besar tinggi kerucut maka luas bidang kontak yang bersentuhan akan semakin kecil sehingga mengakibatkan daerah HAZ pun semakin kecil sehingga kekuatan tariknya cenderung meningkat dan porositasnya pun menurun dikarenakan *heat input* yang terjadi kecil. Kemudian semakin tinggi *burn-off length* akan menyebabkan *heat input* yang terjadi cenderung semakin besar dan daerah HAZ pun semakin besar serta *heat inputnya* besar dikarenakan gesekan antar spesimen yang cenderung lama sehingga kekuatan tariknya akan semakin rendah serta porositas yang terjadi besar karena logam menjadi melunak.

