

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Sebelumnya

Asmono (2014), telah meneliti tentang pengaruh variasi sudut tirus pin dan *rotation speed* terhadap kekuatan tarik sambungan las hasil *friction stir welding* pada aluminium. Peneliti menggunakan tiga parameter utama, dua parameter yaitu sudut tirus pin dan *rotation speed* yang divariasikan dan kecepatan pengelasan dijaga konstan 55 mm/menit. Sudut tirus pin yang digunakan ( $101^{\circ}$ ;  $112^{\circ}$ ;  $121^{\circ}$ ; dan  $129^{\circ}$ ), dan *rotation speed* (1096 rpm; 1452 rpm; dan 1842 rpm). Dari peneliti dapat disimpulkan peningkatan sudut tirus pin akan mengakibatkan kekuatan tarik dari sambungan hasil lasan semakin meningkat.

Wediyanto (2014), peneliti telah melakukan penelitian tentang pengaruh variasi lebar celah dan kecepatan putar terhadap kekuatan tarik sambungan las aduk gesek (*friction stir welding*) pada aluminium 6061. Peneliti melakukan penyambungan transversal dengan variasi celah (0 mm, 0,5 mm dan 1 mm) dan variasi kecepatan putar (1452 rpm; 1842 rpm; 2257 rpm). Hasil yang didapatkan yaitu semakin tinggi kecepatan putar yang diberikan maka *heat input* yang dihasilkan akan semakin besar dan kekuatan tarik yang dihasilkan juga akan meningkat. Namun kecepatan putar yang terlalu tinggi membuat *heat input* yang dihasilkan semakin besar, sehingga terjadi perubahan fisik atau struktur pada material induk yang akan disambung dan mengakibatkan kekuatan tarik menurun. Semakin besar lebar celah yang diberikan maka gesekan antara *tool welding* dan material akan semakin kecil akibat bidang kontak yang bergesekan semakin sedikit sehingga panas yang dihasilkan akan semakin sedikit dan mengakibatkan kekuatan tarik sambungan las menurun.

Wijayanto (2012), meneliti pengaruh *feed rate* terhadap sifat mekanik pada *friction stir welding* aluminium dengan putaran pada mesin 3600 rpm dan variasi laju kecepatan proses (*feed rate*) 40 mm/menit, 64 mm/menit, 93 mm/menit, 200 mm/menit dan 320 mm/menit. Hasil penelitian menunjukkan terjadi penurunan nilai kekerasan yang signifikan pada daerah logam las, HAZ dan logam induk terhadap material induknya, tetapi untuk variabel 320 mm/menit terjadi penyempitan daerah lasan. Nilai tegangan dan regangan yang paling baik adalah pada variabel 320 mm/menit (8.86 kg/mm ; 2.17%). Sedangkan nilai tegangan terendah terjadi pada variabel 64 mm/menit (5.75 kg/mm) dan nilai regangan terendah terjadi pada variabel 200 mm/menit (1.02%).

Sudrajat (2012), melakukan analisis pada sifat mekanik hasil pengelasan aluminium AA 1100 dengan metode *friction stir welding* (FSW). Hasil yang diungkapkan dari penelitian ini dapat dilihat bahwa *ultimate strength* yang tertinggi adalah dengan menggunakan putaran *tool* 1120 rpm dan *ultimate strength* pada putaran *tool* 980 rpm adalah yang terendah. Cacat *wormholes* pada pengelasan dengan putaran *tool* 980 rpm adalah hal utama yang mengurangi kekuatan tarik pada penelitian ini

## 2.2 Aluminium

Aluminium merupakan logam yang memiliki berat jenis rendah, ketahanan korosi cukup baik dan hantaran listrik yang baik, dapat dilihat pada (gambar 2.1). Material ini dipergunakan bukan hanya untuk peralatan rumah tangga tetapi juga dipakai untuk keperluan material pesawat terbang, mobil, kapal laut, konstruksi dan sebagainya. Material ini banyak digunakan pada struktur atau part-part yang menginginkan beban yang ringan dan tahan karat karena material ini memiliki berat jenis rendah dan ketahanan karat yang baik.



Gambar 2.1 Alumunium  
Sumber: Anonymous 1

### 2.2.1 Sifat-sifat Aluminium

Aluminium memiliki beberapa sifat yang menguntungkan. Sifat-sifat aluminium yaitu:

1. Ringan

Aluminium tergolong dalam jenis logam yang memiliki berat jenis rendah, sehingga aluminium banyak dipergunakan dalam pembuatan alat dan benda yang

membutuhkan berat ringan dan kekuatan yang baik seperti bodi mobil, pesawat, dan rangka konstruksi berkekuatan sedang.

2. Tahan karat

Aluminium merupakan salah satu logam yang memiliki daya tahan terhadap korosi yang cukup baik, berbeda dengan beberapa logam lain apabila terkena oksigen, air atau bahan kimia lainnya akan mengalami pengikisan.

3. Hantar listrik yang baik

Aluminium memiliki daya hantar listrik yang cukup baik yaitu, kurang lebih 65% dari daya hantar tembaga.

### 2.2.2 Klasifikasi Paduan Aluminium

Aluminium dapat diklasifikasikan menurut jenis paduannya. Sifat aluminium dari berbagai paduan meliputi:

1. Al-Murni

Aluminium murni merupakan aluminium murni dengan kadar kemurniannya mencapai 99,85% hingga 99,999%. Sifat ketahanan korosi dapat berubah menurut kemurnian aluminium. Untuk kemurnian 99% atau di atasnya dapat bertahan bertahun-tahun sedangkan untuk hantaran listrik aluminium kira-kira 65% dari hantaran listrik tembaga.

2. Al-Cu

Tembaga ditambahkan pada aluminium berfungsi meningkatkan kekuatan mekaniknya. Jumlah paduan tembaga dibatasi supaya tidak mengurangi sifat mampu tuangnya.

3. Al-Mn

Unsur paduan mangan dalam aluminium berfungsi untuk menambah kekuatan mekanik pada aluminium dan tidak mengurangi sifat ketahanan korosinya.

4. Al-Si

Kandungan Si pada aluminium memberikan beberapa keuntungan seperti hasil permukaan yang baik. Si mempunyai ketahanan korosi yang baik, ringan, koefisien muai yang kecil dan koefisien pemuaian termalnya sangat rendah. Karena itu paduan ini mempunyai koefisien yang rendah apabila ditambah Si lebih banyak.

5. Al-Mg

Pengaruh Mg di dalam paduan Al-Mg hampir sama dengan Cu didalam paduan aluminium. Fungsi magnesium pada aluminium yaitu: mempermudah proses

peningkatan, meningkatkan kemampuan pengerjaan mesin, menambah daya tahan terhadap korosi, meningkatkan kekuatan mekanisnya, menghaluskan butiran kristal secara efektif dan meningkatkan ketahanan beban kejut atau impak.

6. Paduan Al-Mg-Si

Paduan Al, Si dan Mg membentuk senyawa Magnesium Silikat (MgSi) yang akan membentuk *eutektik* pada sistem paduan AlMg<sub>2</sub>Si. Paduan dalam sistem ini mempunyai kekuatan yang kurang sebagai bahan tempaan dibandingkan dengan paduan-paduan lainnya, sangat baik untuk *ekstrusi*, sangat baik untuk mampu bentuk yang tinggi pada temperatur biasa, tahan korosi dan sebagai tambahan dapat diperkuat dengan perlakuan panas setelah pengerjaan.

7. Paduan AL-Zn

Paduan ini memiliki ketahanan korosi yang baik dan biasanya digunakan untuk konstruksi tempat duduk pesawat terbang, perkantoran dan konstruksi lainnya yang membutuhkan perbandingan antara ketahanan korosi dan berat yang tidak terlalu besar.

### 2.2.3 Unsur Paduan Aluminium

Aluminium murni mempunyai kemurnian 99% - 99,96%. Unsur- unsur paduan yang utama dalam aluminium antara lain:

a. Silikon (Si)

Penambahan unsur silikon akan mempengaruhi ketahanan aluminium terhadap korosi.

b. Tembaga (Cu)

Penambahan unsur tembaga pada aluminium akan meningkatkan kekerasannya dan kekuatannya.

c. Magnesium (Mg)

Penambahan unsur magnesium pada aluminium akan mempunyai ketahanan korosi yang baik dan kualitas pengerjaan mesin yang baik, mampu las serta kekuatannya cukup.

d. Nikel (Ni)

Penambahan unsur nikel aluminium dapat bekerja pada temperatur tinggi, misalnya piston dan *silinder head* untuk motor.

e. Mangan (Mn)

Penambahan unsur mangan aluminium sangat mudah dibentuk, tahan korosi baik, sifat dan mampu lasnya baik.

f. Seng (Zn)

Umumnya seng ditambahkan bersama-sama dengan unsur tembaga dalam prosentase kecil. Dengan penambahan unsur seng akan meningkatkan sifat-sifat mekanik pada perlakuan panas dan kemampuan mesin.

### 2.3 Pengelasan

Pengelasan merupakan suatu proses untuk menyambungkan dua buah batang logam atau pelat logam pada prinsip-prinsip proses difusi, sehingga terjadi penyatuan bagian bahan yang disambung. Berdasarkan pengertian dari *Deutsche Industrie Normen* (DIN), las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan cair. Teknik pengelasan secara sederhana telah ditemukan dalam rentang waktu antara 4000 sampai 3000 SM. Setelah energi listrik dipergunakan dengan mudah, teknologi pengelasan maju dengan pesatnya sehingga menjadi suatu teknik penyambungan yang mutakhir. Hingga saat ini telah dipergunakan lebih dari 40 jenis pengelasan. Berdasarkan cara kerjanya, klasifikasi pengelasan dapat dilihat pada (gambar 2.2), yaitu:

1. Pengelasan Cair

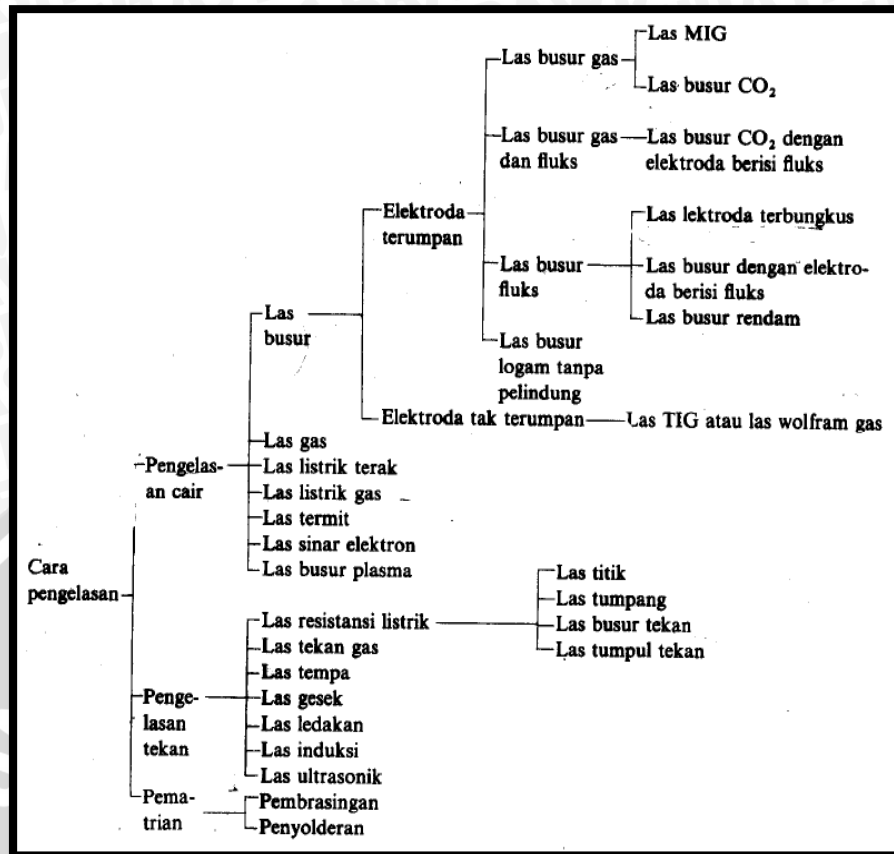
Cara pengelasannya adalah sambungan dipanaskan sampai mencair dengan sumber panas dari busur listrik atau semburan api gas yang terbakar.

2. Pengelasan Tekan

Cara pengelasannya adalah sambungan dipanaskan dan kemudian ditekan hingga menjadi satu.

3. Pematrian

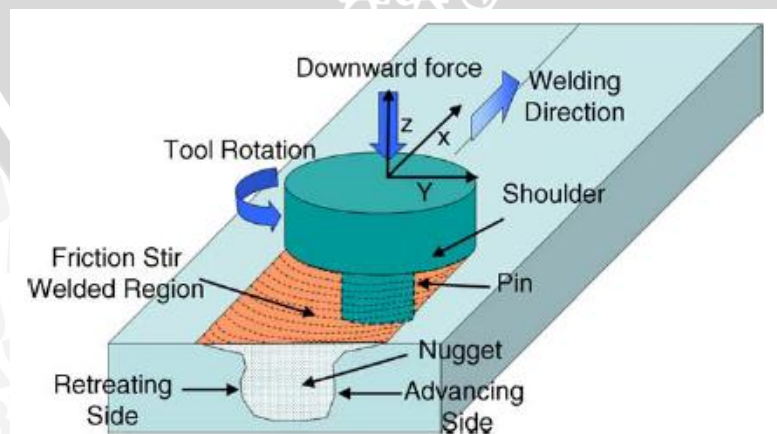
Cara pengelasannya adalah sambungan diikat dan disatukan dengan menggunakan paduan logam yang mempunyai titik cair rendah, logam induk tidak ikut mencair.



Gambar 2.2 Klasifikasi Cara Pengelasan  
Sumber: Wedyanto (2014: 8)

#### 2.4 Friction Stir Welding

*Friction stir welding* merupakan salah satu teknik pengelasan baru yang diciptakan oleh *The Welding Institut* (TWI), Cambridge, Inggris. FSW adalah sebuah metode pengelasan yang pada prosesnya tidak memerlukan bahan penambah dan suhu kerjanya tidak melewati titik lebur benda kerja.



Gambar 2.3 Skema *Friction Stir Welding*  
Sumber: Mishra (2005: 2)

Pada gambar diatas menjelaskan bahwa panas yang digunakan untuk mencairkan logam dihasilkan dari gesekan antara benda yang berputar (*tool*) dengan benda yang diam (benda kerja) dengan kecepatan konstan sepanjang alur sambungan antara dua material yang akan di las. Panas yang dihasilkan akan menyebabkan material yang diaduk akan melunak tanpa melewati titik leburnya. Benda kerja harus dicekam dengan kuat pada ragum untuk mempertahankan posisinya akibat gaya yang terjadi saat pengelasan. Agar mendapatkan hasil las yang optimal, bahan dan bentuk pin di didesain sedemikian rupa. Pada pengelasan FSW terdapat beberapa keuntungan, diantaranya:

1. Bisa mengelas semua jenis aluminium.
2. Tidak terjadi pelelehan selama pengelasan.
3. Tidak memerlukan bahan pengisi.
4. Tidak menimbulkan gas.
5. *Tool welding* dapat digunakan berulang-ulang.
6. Ramah lingkungan (*low flame*).
7. Kekuatan las lebih baik dibandingkan dengan *fusion welding*.

FSW bisa digunakan untuk mengelas material aluminium satu series atau berbeda series, baja, titanium, tembaga, magnesium *alloy*, logam paduan dan komposit matrik logam. FSW dapat menghasilkan sambungan *butt joint*, sudut, *lap joint*, T, *spot*, dan *fillet* serta dapat digunakan pula untuk menyambung benda berongga, seperti tanki, tabung dan pipa dengan kontur 3 dimensi.

### 2.5 Heat Input

*Heat input* yang dihasilkan merupakan satu hal yang sangat penting dalam proses pengelasan. Pada pengelasan FSW, panas yang dihasilkan berasal dari *tool* pengelasan yang bergesekan dengan benda kerja. Beberapa faktor yang tidak diperhitungkan dalam FSW diantaranya *welding speed* dan *heat losses*, persamaan *heat input* akibat gesekan antara *tool* pengelasan dan benda kerja adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{shoulder}} &= \int_{R_{\text{probe}}}^{R_{\text{shoulder}}} \int_0^{2\pi} \tau_{\text{contact}} \omega r r d\theta dr && \text{(Lohwasser, 2009: 281)(2-1)} \\
 &= \int_{R_{\text{probe}}}^{R_{\text{shoulder}}} 2\pi \tau_{\text{contact}} \omega r^2 dr \\
 &= \frac{2}{3} \pi \omega \tau_{\text{contact}} (R_{\text{shoulder}}^3 - R_{\text{probe}}^3)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{probe\ side} &= \int_0^{H_{probe}} \int_0^{2\pi} \tau_{contact} \omega r r d\theta dz & (2-2) \\
 &= \int_0^{H_{probe}} 2\pi \tau_{contact} \omega r^2 dz \\
 &= 2 \pi \omega \tau_{contact} R_{probe}^2 H_{probe}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{probe\ tip} &= \int_0^{R_{probe}} \int_0^{2\pi} \tau_{contact} \omega r r d\theta dr & (2-3) \\
 &= \int_0^{R_{probe}} 2\pi \tau_{contact} \omega r^2 dr \\
 &= \frac{2}{3} \pi \omega \tau_{contact} R_{probe}^3
 \end{aligned}$$

$$Q_{total} = Q_{shoulder} + Q_{probe\ side} + Q_{probe\ tip} \quad (2-4)$$

Atau

$$Q = \frac{2}{3} \pi \omega \tau_{contact} (R_{shoulder}^3 + 3R_{probe}^2 H_{probe}) \quad (2-5)$$

dengan:

$Q$  = Panas total yang di hasilkan (J/s)

$\omega$  = Kecepatan putar (rpm)

$R_{shoulder}$  = Jari-jari *shoulder* (m)

$R_{probe}$  = Jari-jari *probe* (m)

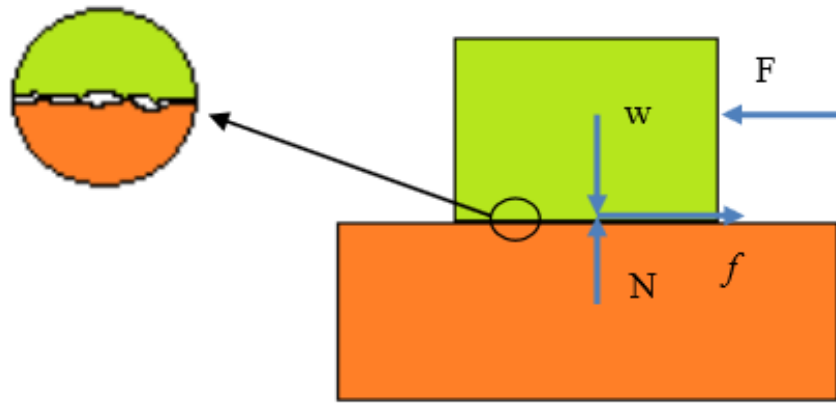
$H_{probe}$  = Tinggi *probe* (m)

$\tau_{contact} = \tau_{contact}$  untuk aluminium = 20 MPa

## 2.6 Gesekan pada Benda

Saat dua benda saling bersinggungan antara satu dengan yang lainnya, dapat diamati adanya pergerakan seperti dilawan oleh suatu gaya (gambar 2.4). Fenomena ini biasa disebut dengan gesekan (*friction*) sedangkan gaya yang bekerja di dalamnya disebut gaya gesek (*friction force*). *Friction* adalah gesekan diantara dua permukaan yang saling kontak dan bergerak relatif dan sering dinyatakan sebagai gaya yang melawan. Gesekan diuraikan dengan koefisien gesek ( $\mu$ ). Koefisien gesek adalah area kontak antara dua permukaan, sifat dan kekuatan yang saling mempengaruhi.





Gambar 2.4 Mekanisme Gesekan  
Sumber: Anonymous 2

Pada saat pengelasan, *heat input* yang dihasilkan berasal dari gesekan antara tool dengan benda kerja. Berdasarkan Hukum Kekekalan Energi, kalor merupakan energi yang dapat berubah dari satu bentuk ke bentuk yang lain. Energi listrik dapat berubah menjadi energi kalor dan juga sebaliknya. Besarnya energi listrik yang diubah atau diserap sama dengan besar kalor yang dihasilkan. Sehingga secara matematis dapat dirumuskan:

Ketika  $\Delta E=0$ , maka  $Q=W$  (Cengel, 2006:74)(2-6)

Untuk menghitung energi listrik digunakan persamaan sebagai berikut :

$$W = P \cdot t \quad (\text{Yahdi, 1990:170})(2-7)$$

dengan :

$Q$  = kalor (J)

$W$  = energi (J)

$P$  = daya (W atau J/s)

$t$  = waktu (s)

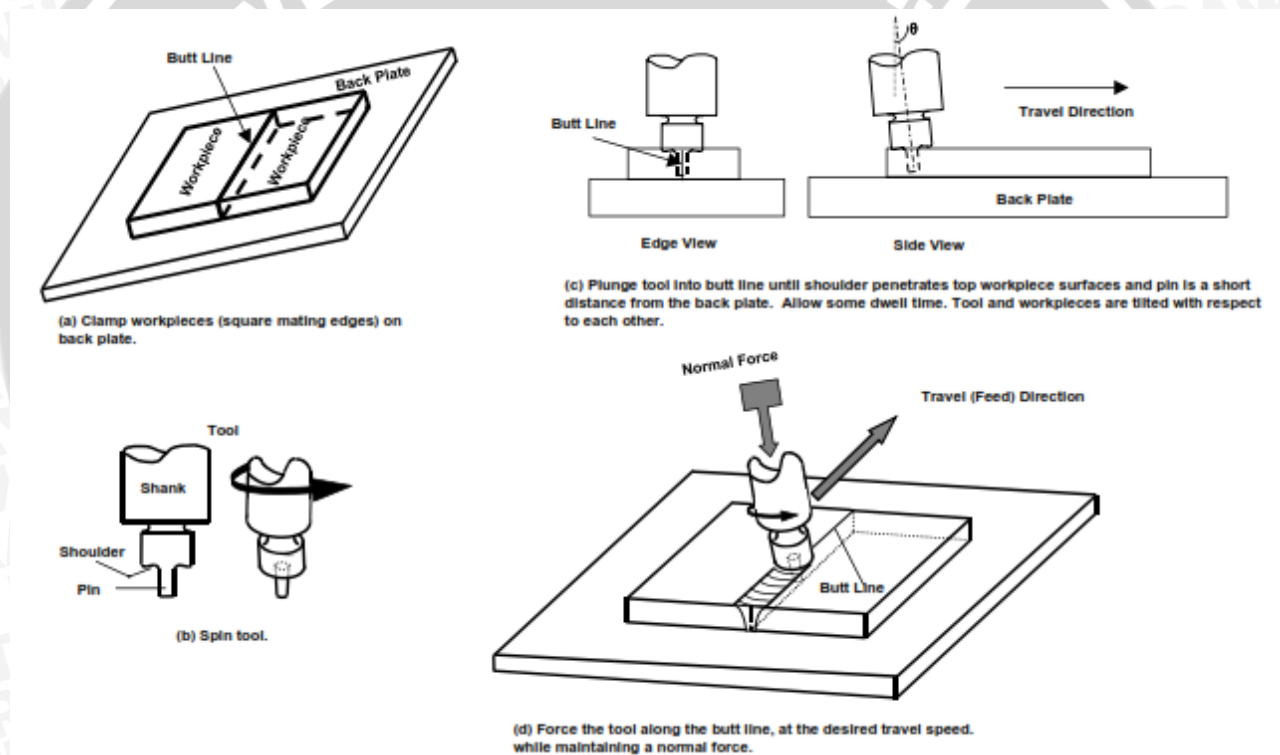
Jadi, pada saat daya yang diterima saat pengelasan sama dengan lamanya waktu saat pengelasan sangat berpengaruh terhadap kalor yang dihasilkan, begitu pula dengan sebaliknya.

## 2.7 Profil Sambungan Las

Pada proses FSW terdapat beberapa jenis sambungan seperti sambungan temu (*butt joint*), sambungan tumpuk (*lap joint*) dan sambungan lainnya.

### 2.7.1 Butt Joint

Dua benda kerja yang dilas pada posisi pertemuan ruas antara bidang yang bersentuhan yang di cekam pada ragum, dapat dilihat pada (gambar 2.5). Ragum mencegah benda kerja berputar atau terangkat ketika proses las berlangsung. *Tool* secara perlahan turun dan masuk ke dalam ruas pertemuan benda kerja sampai *shoulder* dari *tool* menyentuh permukaan benda kerja dan ujung pin sedekat mungkin dengan *backplate*. *Dwell time* yang singkat dapat membangkitkan panas untuk *preheating* dan pelunakan material sepanjang garis sambungan. Sampai di akhir pengelasan *tool* ditarik/diangkat ketika *tool* masih dalam kondisi berputar. Saat ditarik, *tool* akan meninggalkan lubang di ujung pengelasan. *Tool shoulder* yang bersentuhan dengan benda kerja pun meninggalkan bekas (Terry, 2005: 8).



Gambar 2.5 Butt Joint (a) Pencekaman benda kerja pada *back plate*, (b) FSW *tool*, (c) Bagian-bagian dari *tool* pengelasan, (d) Gaya yang terjadi pada *tool* ketika proses FSW  
Sumber: Terry (2005: 8)

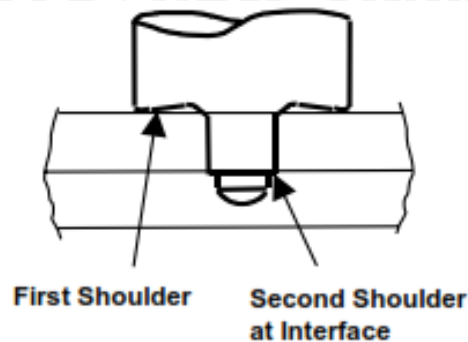
*Tool* FSW yang berputar bergerak searah dengan alur pengelasan, permukaan depan dari *probe tool* memaksa *plasticed material* dari kedua sisi material yang akan dilas ke arah belakang *probe*. Akibatnya material dipindahkan dari permukaan depan *tool* ke belakang *probe tool* (ketika material sedang diaduk) dan ditempa oleh permukaan

*shoulder* yang bersentuhan dengan bidang benda kerja. Beberapa orang percaya bahwa gerakan berputar (*stirring*) bisa memecah oksigen pada permukaan *faying*, sehingga ikatan antar sambungan menghasilkan permukaan yang bersih. Perlu dicatat bahwa untuk menghasilkan sambungan yang penuh, maka pin harus sedekat mungkin dengan *backplate* dan *shoulder* harus menyentuh permukaan benda kerja. Kurangnya penetrasi berpotensi besar untuk mengalami kegalalan pada sambungan. Pada gambar di atas bisa dilihat bahwa sumbu dari *spindle* dan benda kerja tidak benar-benar tegak lurus  $90^{\circ}$ , ada kemiringan sekitar  $2-4^{\circ}$ , kemiringan ini bisa didapat dengan cara memiringkan *spindle* mesin atau memiringkan benda kerja. Hal ini dapat membantu pemadatan material pada bagian belakang *tool*, tetapi juga mempunyai kelemahan yaitu berkurangnya kecepatan pengelasan (*travel speed weld*). (Terry, 2005: 8)

Konsekuensi dari metode FSW adalah adanya lubang (*key hole*) yang terjadi diakhir pengelasan. Untuk pengelasan baja dan material *alloy* lainnya, pelubangan awal (*predrill*) berdiameter kecil diperlukan di area *butt line* yang bertujuan untuk mengurangi gaya yang terjadi ketika *tool* berpenetrasi ke dalam benda kerja. Sangat disarankan adanya proses permesinan akhir (*finishing*) dari benda kerja pada awal dan akhir sambungan karena *strength* pada posisi ini memiliki nilai yang paling rendah dibanding posisi lain. Proses *finishing* bisa lakukan dengan menghilangkan benda kerja kira-kira setebal benda kerja atau lebih. (Terry, 2005: 9)

### 2.7.2 Lap Joint

Prinsip sambungan tumpuk tidak berbeda jauh dengan *butt joint* kecuali tidak adanya *butt line*, dimana *tool* berada diantara benda kerja sehingga *tool* harus menembus benda kerja teratas, dapat dilihat seperti (gambar 2.6). Hal ini merupakan perbedaan yang mendasar antara *butt joint* dengan *lap joint*. Pada *butt joint*, putaran utama terjadi di permukaan antar sambungan. Sedangkan *lap joint* yang sambungannya tidak berada di permukaan sambungan, tetapi berada diantara permukaan tumpukan sambungan. *Tool* pada *butt joint* hanya memiliki satu *shoulder*, sedangkan pada *lap joint* memiliki dua *shoulder* yang lokasinya berada di permukaan benda kerja bawah. Pada sambungan tumpuk, ujung *probe* dari *tool* FSW harus menembus benda kerja bagian atas dan harus menembus sebagian pada benda kerja di bawahnya (Terry, 2005: 9).



Gambar 2.6 *Lap Joint*  
Sumber: Terry (2005: 9)

Pada sambungan tumpuk, ujung *probe* dari *tool* FSW harus menembus benda kerja bagian atas dan harus menembus sebagian pada benda kerja di bawahnya. Oleh karena itu, ujung pin tidak perlu sampai mendekati permukaan bawah benda kerja bagian bawah, karena berbeda dengan *butt joint*, pada *lap joint* sambungan las tidak terfokus pada pembentukan penutupan akar. Namun tetap harus memperhitungkan efek dari faktor kedalaman penetrasi terhadap sifat mekanik sambungan. Takikan pada kedua sisi dari sambungan merupakan daerah potensial terjadinya retakan dan berpengaruh besar terhadap sifat mekanik. Secara umum, biasanya sambungan tumpuk tidak sekuat sambungan *butt joint* yang kekuatannya bisa menggantikan fungsi dari *fasteners*. (Terry, 2005: 9).

## 2.8 Parameter Pengelasan

Parameter pengelasan dari FSW meliputi:

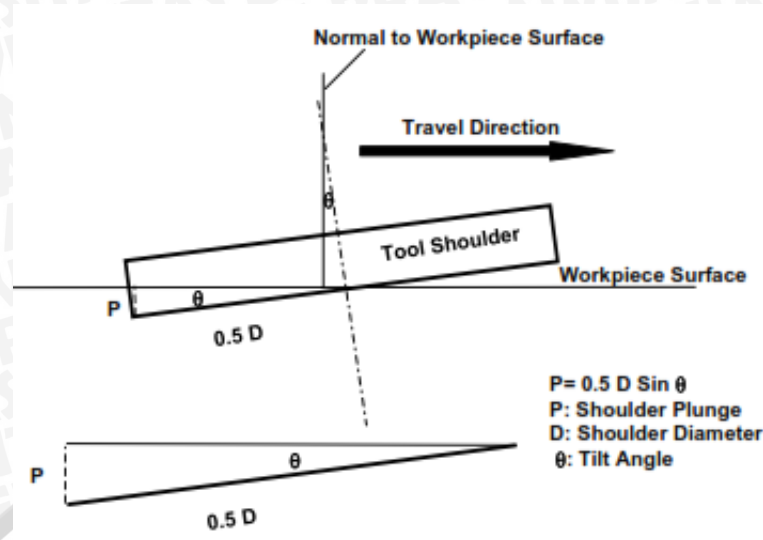
1. Kecepatan putar (*rotational speed*) dan kecepatan tempuh (*travel speed*). Dengan variasi *rotational speed* dan *travel speed* akan didapatkan axis load, dapat dilihat pada tabel dibawah ini.
2. Bentuk *shoulder* dan pin (dapat dilihat pada gambar 2.9).
3. Gaya normal (*normal force*), kemiringan *tool*, kedalaman *shoulder* (*shoulder plunge*) dapat dilihat pada gambar 2.7.

Tabel 2.1 Parameter Proses FSW

| <i>Rotational Speed</i><br>(rpm) | <i>Travel Speed</i><br>(mm/s) | <i>Axis Load</i><br>(kN) |
|----------------------------------|-------------------------------|--------------------------|
| 90                               | 0.85                          | 28.9                     |
| 135                              | 1.27                          | 30                       |
| 180                              | 1.7                           | 27.8                     |
| 270                              | 2.54                          | 37.8                     |
| 315                              | 2.96                          | 37.8                     |
| 405                              | 3.81                          | 45.6                     |
| 120                              | 0.85                          | 24.5                     |
| 180                              | 1.27                          | 24.5                     |
| 240                              | 1.7                           | 24.5                     |
| 360                              | 2.54                          | 30                       |
| 540                              | 3.81                          | 41                       |
| 720                              | 5.1                           | 37.8                     |
| 180                              | 0.85                          | 20                       |
| 270                              | 1.27                          | 22                       |
| 360                              | 1.7                           | 24                       |
| 540                              | 2.54                          | 33.5                     |
| 630                              | 2.96                          | 36                       |
| 810                              | 3.81                          | 39                       |
| 900                              | 4.2                           | 36.5                     |

Sumber: Mishra (2005: 59)

Kemiringan sudut berpengaruh pada menjauhnya permukaan sambungan (*face and toe*) dari permukaan benda kerja. Kemiringan pun menambah kedalaman dari (*P*) *shoulder plunge*



Gambar 2.7 Shoulder Plunge  
 Sumber: Terry (2005: 10)

### 2.8.1 Kecepatan Putar dan Kecepatan Tempuh

Kecepatan tempuh dan kecepatan putar harus ditentukan secara cermat untuk mendapatkan proses pengelasan yang efisien dan hasil yang memuaskan. Hubungan antara kecepatan tempuh dan *heat input* selama proses pengelasan dapat dikatakan bahwa, meningkatkan kecepatan putar atau menurunkan kecepatan tempuh cenderung akan meningkatkan masukan panas dan temperature pengelasan. (Terry, 2005: 13). Jika material tidak cukup mendapatkan panas maka pengelasan tidak akan optimal sehingga terjadi cacat rongga atau cacat lain dan kemungkinan *tool* akan rusak. Tetapi *heat input* yang terlalu tinggi akan merugikan sifat akhir lasan karena perubahan karakteristik logam induk material. Oleh sebab itu, dalam menentukan parameter harus benar-benar cermat, *heat input* harus cukup tinggi tetapi tidak terlalu tinggi untuk mencegah timbulnya sifat-sifat las yang merugikan.

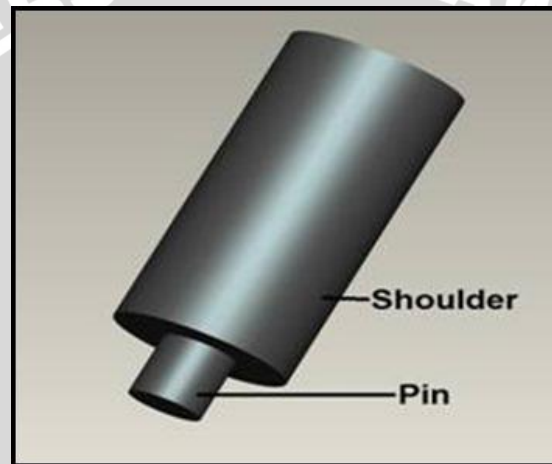
### 2.8.2 Tekanan Shoulder

Tekanan *shoulder* berfungsi untuk memberi efek tempa (*forging*) pada benda kerja. Benda kerja yang panas di tekan dari atas oleh *shoulder* dan di tahan oleh landasan benda kerja dari bawah. Proses ini bertujuan untuk memadatkan benda kerja yang akan disambung sehingga dapat tersambung akibat efek tempa tersebut. Selain itu tekanan *shoulder* juga menghasilkan *heat input* tambahan karena permukaannya yang lebih besar bergesekan dengan benda kerja.

## 2.9 Perancangan Tool

Perancangan *tool* dapat meningkatkan kualitas hasil lasan. Panas yang dihasilkan dari gesekan *tool* dan benda kerja saat dilas sekitar 70 – 80% dari temperatur titik lebur benda kerja yang akan dilas. Material *tool* harus memiliki titik cair yang lebih tinggi dari benda kerja agar ketika proses pengelasan berlangsung material *tool* tidak ikut tercampur dengan lasan.

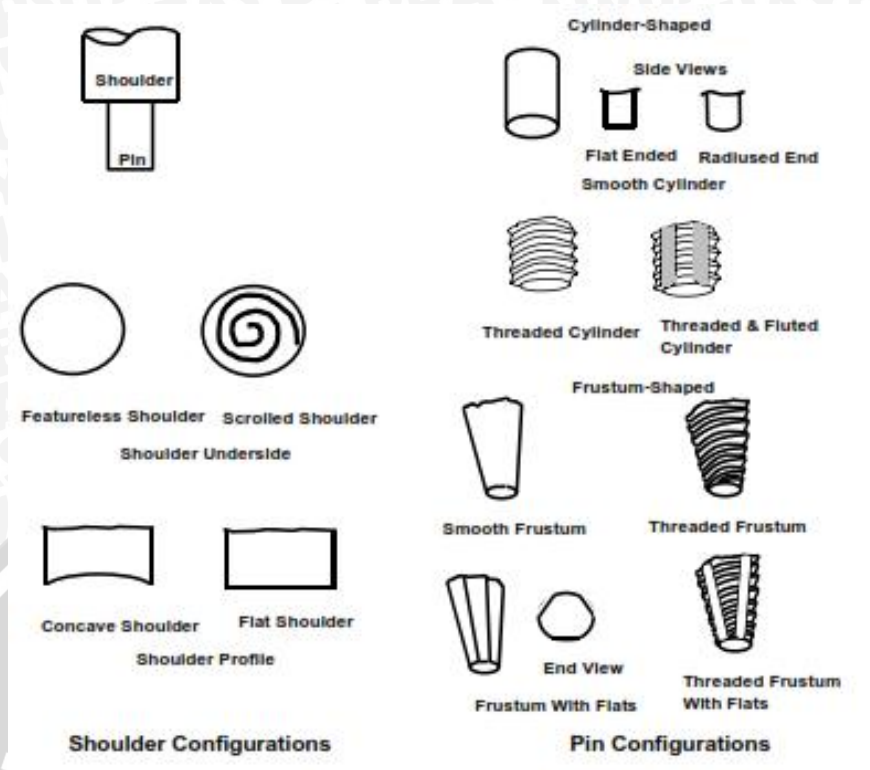
Pada awal penemuan FSW, *tool* yang digunakan masih berupa satu silinder utuh dengan bentuk *probe* silinder sederhana (gambar 2.8). Bentuk *probe* yang sederhana hanya bisa menghasilkan *flow material* dan pencampuran yang terbatas, akibatnya kecepatan pengelasan yang dihasilkan juga rendah (Terry, 2005: 13).



Gambar 2.8 Tool Sederhana pada FSW  
Sumber: Anonymous 3

Salah satu lembaga yang terus mengembangkan rancangan *tool* adalah TWI. Pin berulir diciptakan untuk membantu memastikan deformasi yang terjadi pada benda kerja tersebar secara sempurna di seputar *probe* dan dari part yang atas menuju part yang bawah. Hal ini memungkinkan pencampuran material dilakukan pada putaran yang lebih tinggi dan menghasilkan kualitas yang lebih baik karena bisa mereduksi kekosongan sambungan. (Terry, 2005: 13)

*Threaded pin*, *Fluted pin* dan *frustum pin* dengan bagian bawah rata ditemukan untuk tujuan mempercepat *travel speed*, menyempurnakan *mixing material*, dan memperbaiki kualitas pengelasan. *Scroll shoulder* dan *concave shoulder* diciptakan untuk mengurangi efek *undercutting* dan *flash* pada sambungan yang ditimbulkan oleh bagian bawah tool shoulder (Terry, 2005: 13). Contoh *shoulder* dan pin dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.9 Konfigurasi *Shoulder* dan Pin  
 Sumber: Terry (2005: 14)

Perkembangan perancangan *tool* dari sederhana menjadi kompleks diiringi dengan berkembangnya material dari *tool* itu sendiri. Material *tool* dari FSW harus mempunyai temperatur lebur (*melting point*) yang tinggi, *physical* dan *chemical wear resist*, dan efektif melepaskan panas pada saat proses las berlangsung. (Khaled Terry, 2005: 13).

Perancangan *tool* merupakan salah satu faktor penting yang mempengaruhi sifat mekanik sambungan. Material *tool* merupakan faktor yang menentukan akan koefisien gesek, dan pembangkitan panas. Oleh karena itu perancangan *tool* merupakan hal yang sangat penting dari FSW.

**2.10 Pengujian Tarik**

Uji tarik banyak dilakukan untuk melengkapi informasi rancangan dasar kekuatan suatu bahan dan sebagai data pendukung bagi spesifikasi bahan. Pengujian tarik adalah kemampuan suatu material untuk menerima gaya sejajar dengan sumbunya dengan arah gaya yang berlawanan sampai patah, bersamaan dengan itu dilakukan pengamatan terhadap perpanjangan yang dialami benda uji.

Pengujian tarik untuk kekuatan tarik daerah las dimaksudkan untuk mengetahui apakah kekuatan las mempunyai nilai yang sama, lebih rendah atau lebih tinggi.



Pengujian tarik untuk kualitas kekuatan tarik dimaksudkan untuk mengetahui nilai kekuatan dan letak putus suatu sambungan las. Besarnya kekuatan tarik tergantung dari gaya yang diberikan tiap satuan luas.

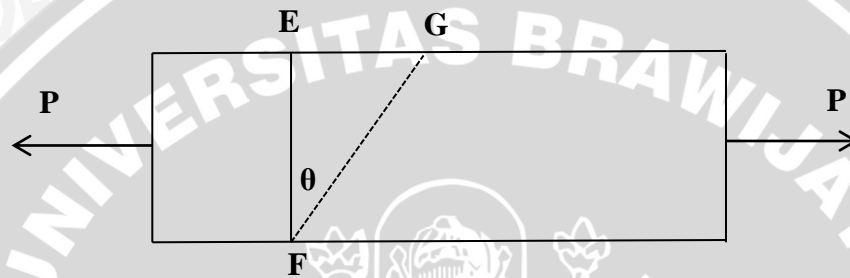
$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2-8)$$

dengan :

$\sigma$  = Tegangan tarik (N/mm<sup>2</sup>)

P = Gaya tarik (N)

A = Luas permukaan penampang (mm<sup>2</sup>)



Gambar 2.10 Arah Gaya pada Uji Tarik  
Sumber: Bansal (2010:86)

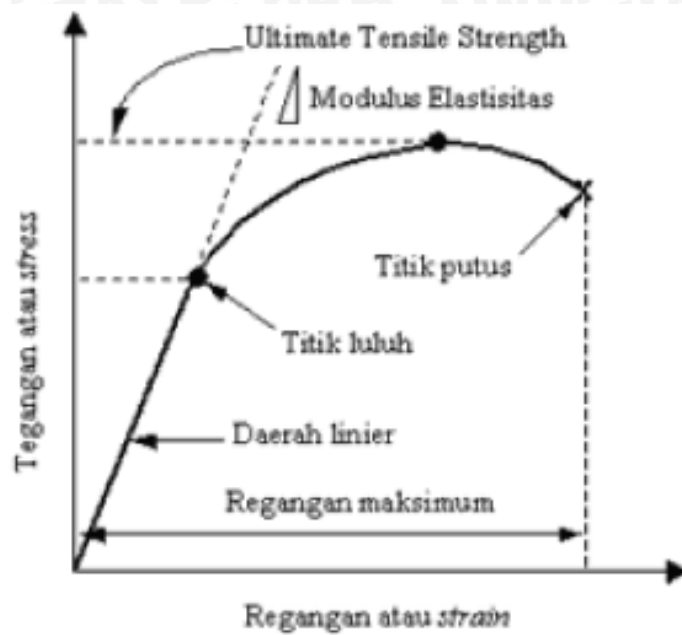
$$A_{FG} = \frac{EF}{\cos\theta} \quad (\text{Bansal, 2010:86})(2-9)$$

$$= \frac{A}{\cos\theta}$$

$$\sigma_{FG} = \frac{P}{A/\cos\theta} \quad (2-10)$$

$$= \frac{P}{A} \cos\theta$$

Pada pengujian tarik, beban yang diberikan secara *continue* dan pelan-pelan bertambah besar. Kemudian dilakukan pengamatan mengenai perpanjangan yang dialami benda uji dan dihasilkan kurva tegangan regangan seperti gambar dibawah ini.



Gambar 2.11 Kurva Tegangan-Regangan  
Sumber: Wediyanto (2014: 14)

Dari kurva tegangan-regangan di atas dapat dilihat bahwa terdapat beberapa daerah yang terjadi saat uji tarik, diantaranya:

1. Daerah Elastis

Daerah terjadinya deformasi elastis yang dimulai dari titik nol sampai daerah luluh. Kenaikan tegangan-regangan berbanding lurus sehingga membentuk kurva yang linear.

2. Daerah Luluh

Daerah awal terjadinya penambahan panjang tanpa adanya penambahan tegangan.

3. Daerah Plastis

Daerah terjadinya deformasi plastis, yang terjadi setelah daerah luluh sampai daerah putus. Kenaikan tegangan-regangan merupakan fungsi polinomial sampai daerah *ultimate tensile strength* kemudian turun.

4. *Ultimate Tensile Strength*

Daerah terjadinya tegangan tertinggi yang dapat dicapai spesimen. Pada saat daerah *ultimate tensile strength*, spesimen mengalami *necking* (pergerakan penampang) dengan diikuti penurunan tegangan tapi panjangnya tetap bertambah sampai pada akhirnya putus.

## 5. Daerah Putus

Daerah terjadinya putus pada spesimen. Pada titik nol sampai daerah luluh, tegangan berbanding lurus sehingga membentuk kurva yang linear dengan regangan yang mempunyai kecuraman tertentu. Semakin curam, menunjukkan spesimen semakin keras.

### 2.11 Hipotesa

Besarnya variasi jarak antar spesimen dan *feed rate* akan mempengaruhi kekuatan las pada aluminium murni. Karena semakin besar jarak antar spesimen yang diberikan pada benda kerja, maka proses pengadukan kurang sempurna sehingga gesekan antara *tool* dengan benda kerja akan semakin kecil. Hal ini mengakibatkan *heat input* yang dihasilkan akan semakin sedikit dan kekuatan las pada benda kerja akan semakin menurun. Sedangkan semakin besar *feed rate* yang diberikan pada pengelasan maka waktu yang ditempuh untuk mengelas benda kerja semakin cepat sehingga *heat input* yang dihasilkan semakin sedikit dan akan mempengaruhi kekuatan mekanik pada hasil pengelasan.

