

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Penelitian Suardi (2011) tentang pengembangan sistem *friction stir welding* (FSW) pada material AC4CH, dimana didapatkan kesimpulan bahwa variasi parameter kecepatan, kemiringan *tool* dan bentuk dari *pin* mempunyai mean yang merata sehingga parameter tersebut dapat mengubah kekuatan tarik hasil pengelasan.

Dari penelitian Rahayu (2012) mengenai analisis proses *friction stir welding* (fsw) pada plat tipis aluminium. Hasil penelitian didapatkan bahwa Pada proses FSW dengan metode *Lap Welding* dan *spot welding*, perubahan parameter (kecepatan putar *tool*, feed rate, angle, dwell time) pengelasan berpengaruh terhadap kekuatan mekanik dan kekuatan tarik dari material hasil *Friction Stir Welding*.

Kemudian penelitian dari Venkatesha dan Bhagyashekar (2014) tentang *Preliminary Studies on Mechanical and Metallurgical Behaviour of Friction Stir Welded Butt Joints* menjelaskan bahwa kekuatan tarik aluminium a6061 lebih besar daripada aluminium a6063, tapi efisiensi sambungannya lebih bagus a6063 daripada a6061.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Prakash (2015) berjudul *Multi-response optimization of process parameters in friction stir welded AM20 magnesium alloy by Taguchi grey relational analysis* menyatakan bahwa parameter hasil ANOVA yang paling efektif adalah diameter *shoulder* dan kecepatan putar. Hal ini terlihat bahwa dua faktor tersebut saling berinteraksi memainkan peran penting pada kualitas las.

2.2 Pengelasan

Pengelasan merupakan penyambungan dua bahan atau lebih yang didasarkan pada prinsip-prinsip proses difusi, sehingga terjadi penyatuan bagian bahan yang disambung. Kelebihan sambungan las adalah konstruksi ringan, dapat menahan kekuatan yang tinggi, mudah pelaksanaannya, serta cukup ekonomis. Namun kelemahan yang paling utama adalah terjadinya perubahan struktur mikro bahan yang dilas, sehingga terjadi perubahan sifat fisik maupun mekanis dari bahan yang dilas.

Suatu proses dikatakan pengelasan, adalah dimana terdapat suatu sambungan terhadap dua benda kerja. Benda kerja tersebut dapat berasal dari suatu material yang sama maupun berbeda. Menurut pengertian *Deutch Industrie Normen*, suatu proses dikatakan sebagai pengelasan dimana terjadi sebuah sambungan metalurgi pada dua material dalam posisi cair atau lumer. Dari pengertian diatas dapat dikatakan bahwa suatu pengelasan adalah merupakan sambungan dari beberapa material dengan menggunakan energi panas. Pengelasan sendiri memiliki arti lain dimana suatu proses untuk menyambungkan dua buah logam atau lebih guna untuk mempermudah dan mengurangi biaya produksi. Setelah energi listrik mudah dipergunakan, teknologi pengelasan maju dengan pesatnya sehingga menjadi suatu teknik penyambungan yang mutakhir. Hingga saat ini telah dipergunakan lebih dari 40 jenis pengelasan.

2.2.1 Klasifikasi Proses Las

Sambungan las adalah ikatan dua buah logam atau lebih yang terjadi karena adanya proses difusi dari logam tersebut. Proses difusi dalam sambungan las dapat dilakukan dengan kondisi padat maupun cair. Dalam terminologi las, kondisi padat disebut *Solid state welding* (SSW) atau *Pressure welding* dan kondisi cair disebut *Liquid state welding* (LSW) atau *Fusion welding*.

Proses SSW biasanya dilakukan dengan tekanan sehingga proses ini disebut juga *Pressure welding*. Proses SSW memiliki beberapa kelebihan, diantaranya adalah dapat menyambung dua buah material atau lebih yang tidak sama, proses cepat, presisi, dan hampir tidak memiliki daerah terpengaruh panas (*heat affected zone* / HAZ). Namun demikian SSW juga mempunyai kelemahan yaitu persiapan sambungan dan prosesnya rumit, sehingga dibutuhkan ketelitian sangat tinggi.

LSW merupakan proses las yang sangat populer di kalangan masyarakat kita, sambungan las terjadi karena adanya pencairan ujung kedua material yang disambung. Energi panas yang digunakan untuk mencairkan material berasal dari busur listrik, tahanan listrik, pembakaran gas, dan juga beberapa cara lain diantaranya adalah sinar laser, sinar electron, dan busur plasma. Penyambungan material dengan cara ini mempunyai persyaratan material harus sama, karena untuk mendapatkan sambungan yang sempurna suhu material harus sama, jika tidak proses penyambungan tidak akan terjadi. Kelebihan metode pengelasan ini adalah proses dan persiapan sambungan tidak rumit, biaya murah, pelaksanaannya mudah.

Kelemahannya adalah memerlukan juru las yang terampil, terjadinya HAZ yang menyebabkan perubahan sifat bahan, dan ada potensi kecelakaan dan terganggunya kesehatan juru las.

Tabel 2.1 menunjukkan berbagai macam proses las yang ditinjau dari kelompok SSW dan LSW, disamping itu juga dilihat dari jenis sumber panas yang digunakan beserta kode proses las berdasarkan standar ISO.

Tabel 2.1 Klasifikasi Proses Pengelasan Logam Standar ISO

				Jenis	Kode
WELDING PROCESSES	LIQUID STATE WELDING	Electric Arc Welding	Flash Butt	Projection	
				Shelded Metal	
				Metal Inert Gas	131
			Consumable Electrode	Metal Active Gas	135
				Flux Cored Arc	114
			Non Consumable	Tungsten Inert	141
				Plasma Arc	15
		Resistance Welding			
		Thermal Welding			
	SOLID STATE WELDING				
		Cold Welding		Explosive	441
				Ultrasonic	41
		Diffusion Welding			45

Sumber : *Maintenance Welding*, Prentice-Hall Inc

Menurut cara kerjanya pengelasan dapat dibagi menjadi tiga kelas utama yaitu:

1. Pengelasan Tekan

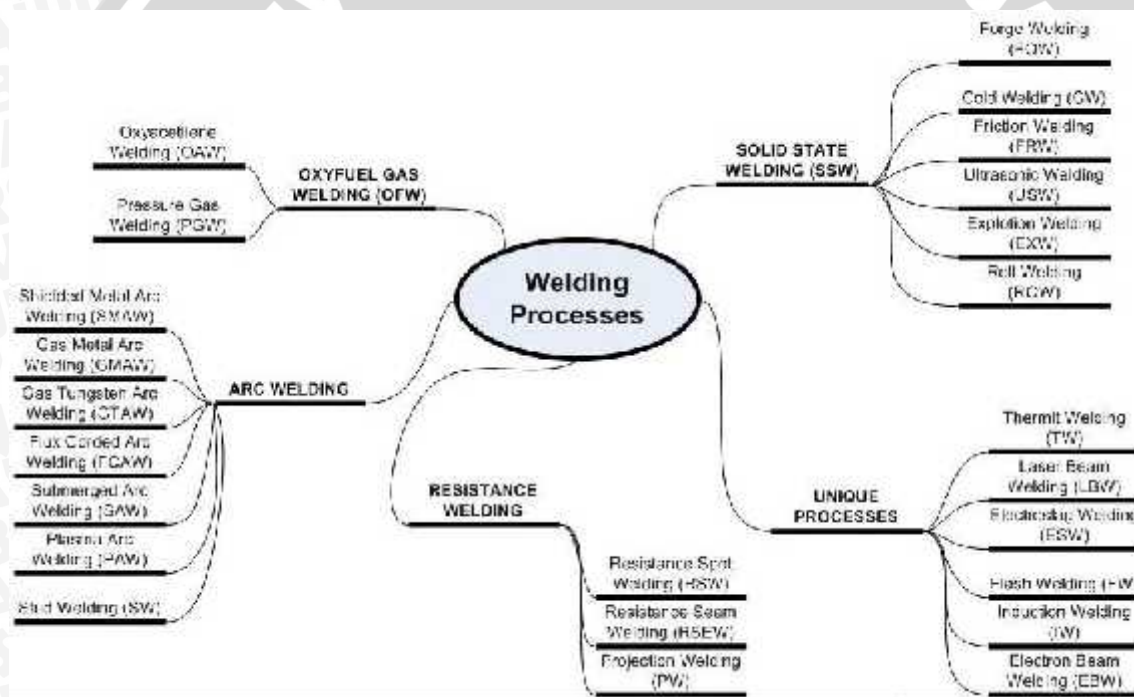
Cara pengelasan dimana pada sambungan dipanaskan dan kemudian pada sambungan yang telah panas tersebut ditekan hingga menjadi satu.

2. Pematrian

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

3. Pengelasan Cair

Cara pengelasan dimana pada sambungan dipanaskan sampai mencair dengan menggunakan sumber panas dari busur listrik atau semburan api gas yang terbakar.



Gambar 2.1 Klasifikasi Cara Pengelasan
Sumber: Wediyanto (2014: 8)

2.3 Friction Welding

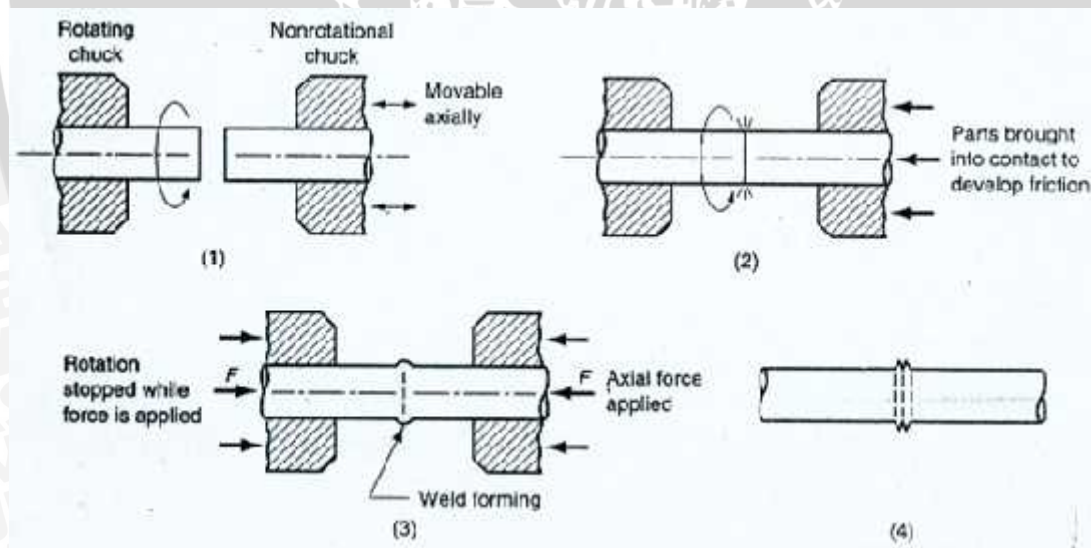
Pada *friction welding* atau dikenal dengan sebutan las gesekan, panas timbul sebagai akibat gesekan kedua bagian logam yang akan disambung dengan berputar dalam kecepatan tinggi. Panas hasil gesekan tersebut akan melelehkan logam, dan kalau diberikan sedikit tekanan, maka akan terjadi sambungan.

Setelah logam mulai meleleh, koefisien gesekan akan turun dan pertambahan panas akan berhenti, sehingga bahan tidak mungkin kepanasan.

Las gesekan umumnya digunakan dalam industri mobil, untuk menyambung as, komponen bak persneling dan kolom kemudi. Dengan metode las gesek ini akan lebih mudah untuk menyambung bahan-bahan yang sulit dilas dengan proses biasa. Misalnya untuk menghubungkan baja dengan tembaga, tembaga dengan aluminium dan titanium.

2.4 Linier Friction Welding

Pengelasan gesek poros (*linier friction welding*) adalah proses pemanfaatan panas untuk penyambungan material yang dihasilkan oleh gerak relative dari dua permukaan yang akan disatukan. Metode ini memanfaatkan perubahan langsung dari energi gerak menjadi energi panas untuk penyambungan material tanpa ada sumber panas dari luar. Pada kondisi normal tidak terjadi *melting* di permukaan material hingga terjadi gesekan pada permukaan kedua material tersebut. Mula-mula material dikondisikan berotasi pada kecepatan tertentu sedangkan material lainnya dalam kondisi statis namun diberikan gaya aksial menuju material yang berputar sehingga terjadi *melting* akibat panas yang timbul dari gesekan pada kedua permukaan material tersebut sehingga terjadi proses penyambungan. (ASM Metal Handbook)



Gambar 2.2 Mekanisme Las Gesek (*Friction Welding*)
Sumber : Swanson Industries Inc. 2006

2.5 Friction Stir Welding

Las gesek datar atau umumnya disebut *friction stir welding* ialah salah satu contoh pengembangan teknik pengelasan keadaan *solid-state*. Sebuah konsep dasar yang sederhana dengan mendesign suatu *tool* atau pin yang kemudian diputar dengan

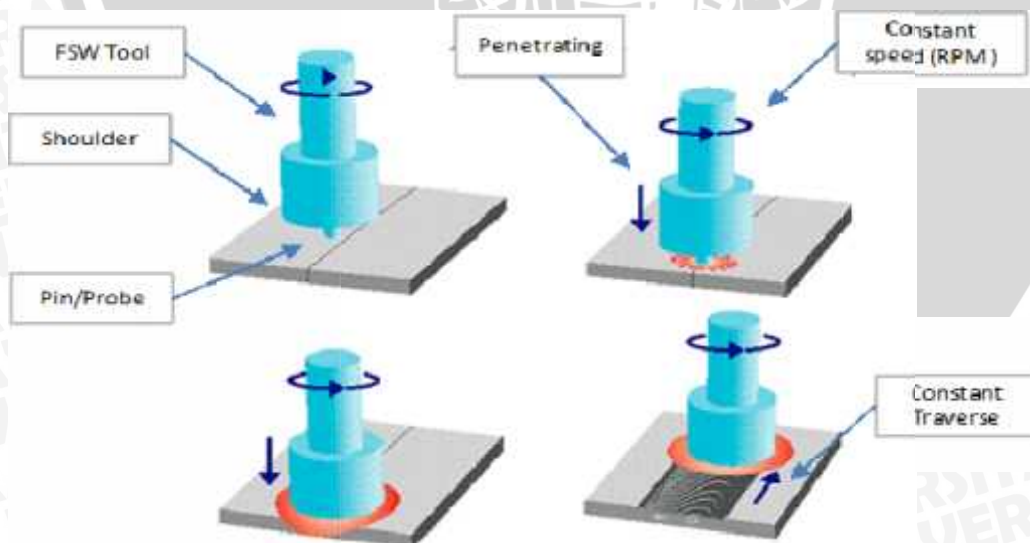
kecepatan tertentu dan ditekan pada daerah tepi kedua benda kerja untuk melakukan proses penyambungan.

Kelebihan las gesek datar atau *friction stir welding* adalah proses penyambungan yang efektif, efisien, lebih ramah lingkungan, dan tidak memakai *fluks* maupun *filler* serta proses ini sangat baik untuk menyambungkan material aluminium.

2.5.1 Prinsip Kerja *Friction Stir Welding*

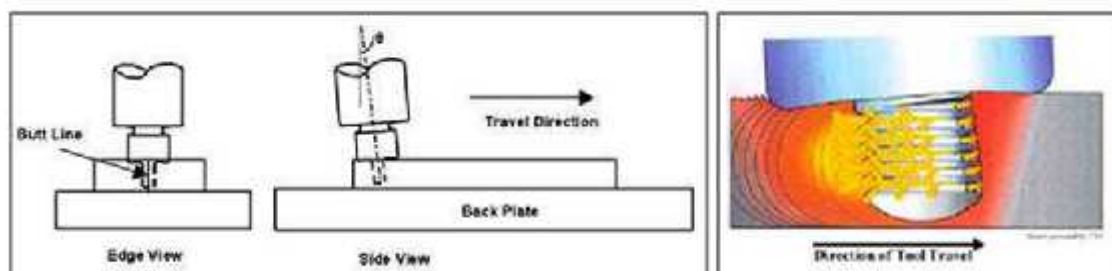
Dalam FSW, *tool* pengelasan berputar dan melaju dengan kecepatan konstan sepanjang jalur lasan sambungan antara dua buah material. Pencekaman benda kerja pada ragum untuk memperkokoh keakuratan posisinya. Panjang dari pin haruslah lebih pendek dari pada tebal yang dimiliki benda kerja dan permukaan benda kerja harus bersentuhan dengan *shoulder* dari *tool*.

Suatu gesekan panas yang terjadi akibat las gesek datar (*Frictional Heat* pada FSW) dihasilkan dari gesekan benda kerja dengan *pin* dan *shoulder* dari *welding tool*. Panas ini bersama dengan panas yang dihasilkan dari proses pengadukan mekanik (*mechanical mixing*) akan menyebabkan material yang diaduk akan melunak tanpa melewati titik leburnya (*melting point*), hal inilah yang memungkinkan *tool* pengelasan bisa bergerak sepanjang jalur pengelasan. Ketika pin *welding tool* bergerak sepanjang jalur pengelasan, permukaan depan pin akan memberikan gaya dorong plastis terhadap material ke arah belakang pin sambil memberikan gaya tempa yang kuat untuk logam las.



Gambar 2.3 Prinsip Dasar *Friction Stir Welding*
Sumber : Khaled, 2005

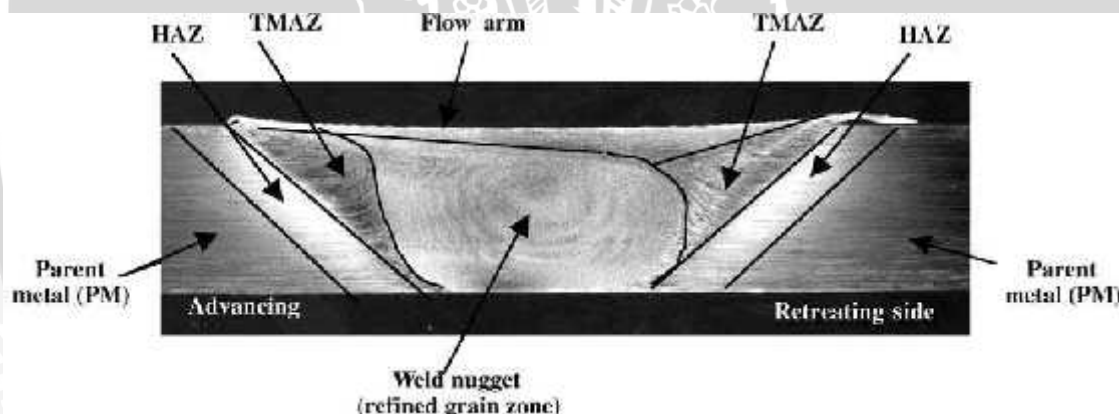
Part yang akan dilas harus dicekam dengan baik dan ditempatkan di atas *backing plat* sehingga beban yang diberikan pada *tool* dan diteruskan ke benda kerja tidak menyebabkan bagian bawah plat yang dilas terdeformasi.



Gambar 2.4 Skema *Friction Stir Welding*

Sumber : Swanson Industries Inc. 2006

Panas yang terjadi membuat material yang ada di sekitar pin menjadi lunak dan akibat adanya gerak rotasi dan translasi dari *tool* material yang ada di depan pin bergerak ke belakang pin dan ini terjadi terus menerus selama gerak translasi berlangsung dan menghasilkan sambungan yang diinginkan.



Gambar 2.5 Heat Zone Pada FSW

Sumber : Khaled, 2005

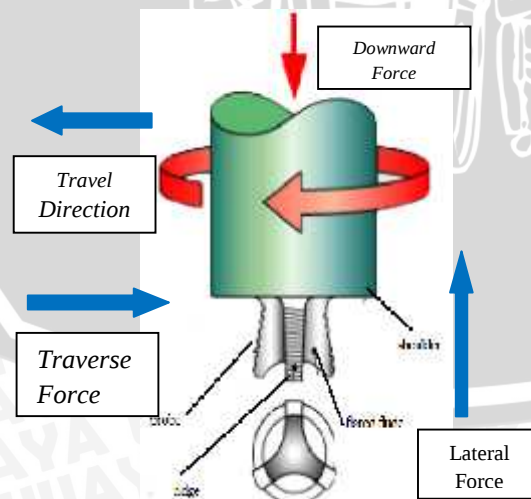
Akibat adanya panas yang terjadi, maka terjadi perubahan struktur mikro pada area yang di las, dan dapat dibagi menjadi 4 zona yaitu (gambar 2.5):

1. Base metal, merupakan bagian base material yang tidak terkena pengaruh panas yang dihasilkan selama proses FSW berlangsung.
2. *Heat-Affected Zone (HAZ)*, area ini merupakan area yang paling dekat dengan center dari lokasi pengelasan, material pada area ini sudah mengalami siklus termal yang menyebabkan perubahan struktur mikro dan sifat mekanik dari base material, tetapi pada area ini tidak terjadi deformasi plastis akibat pengelasan.

3. *Thermomechanically Affected Zone (TMAZ)*, pada area ini *tool* mendeformasi material secara plastis dan tentunya panas yang dihasilkan pada saat proses pengelasan juga membawa pengaruh terhadap material. Pada material aluminium panas tersebut memungkinkan untuk menghasilkan regangan plastis tanpa adanya proses rekristalisasi. Dan biasanya ada batas yang jelas yang membedakan antara area rekristalisasi (*weld nugget*) dan area TMAZ yang terdeformasi.
4. *Weld Nugget*, adalah area yang secara utuh mengalami rekristalisasi atau terkadang disebut juga *Stir Zone*. Area ini merupakan area yang menghasilkan sambungan akibat gerakan *tool*.

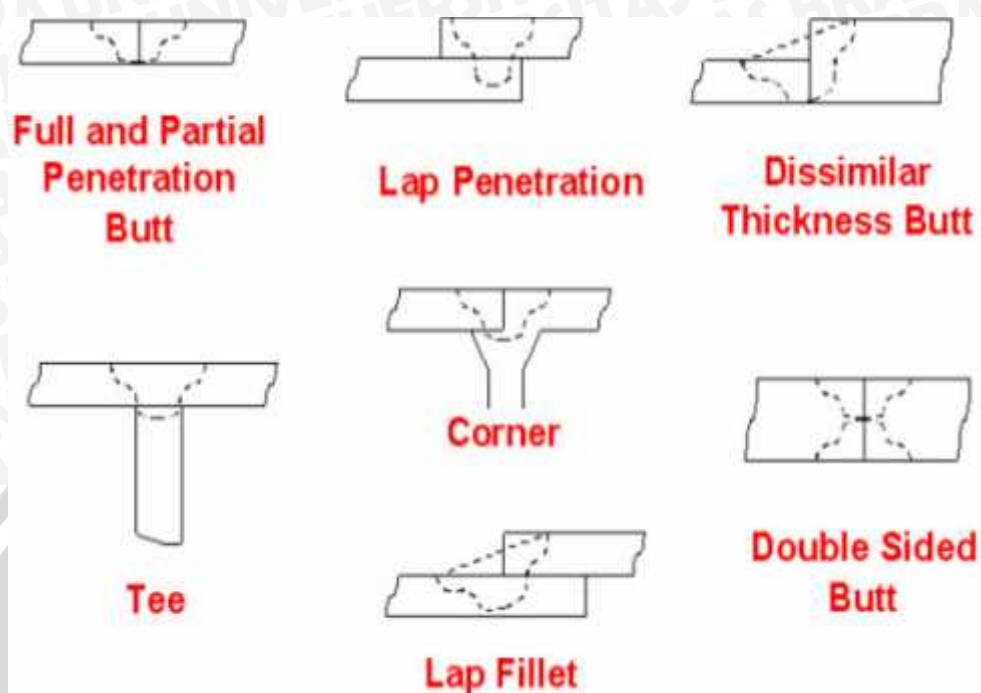
2.5.2 Gaya Pada *Friction Stir Welding*

- *Downward force*, merupakan gaya utama untuk mempertahankan posisi permukaan material benda kerja.
- *Traverse force*, gaya sejajar dengan arah pergerakan *tool*. Peningkatan gaya transversal merupakan wujud resistansi material terhadap pergerakan *tool*, dan sejalannya proses gaya ini akan berkurang sejalan dan naiknya temperatur kerja.
- *Lateral force*, adalah reaksi gaya dari *downward force* atau gaya yang tegak lurus dengan arah dari pergerakan *tool*.
- Torsi dibutuhkan untuk memutarakan *tool*, besarnya nilai koefisien gesek atau *flow strength* dari material dan besarnya dari *downward force*.



Gambar 2.6 Gaya-gaya pada *Friction Stir Welding*
Sumber: Suardi, 2011: 9

2.5.3 Jenis Sambungan Friction Stir Welding



Gambar 2.7 Varian Sambungan FSW

Sumber: Suardi, 2011 : 6

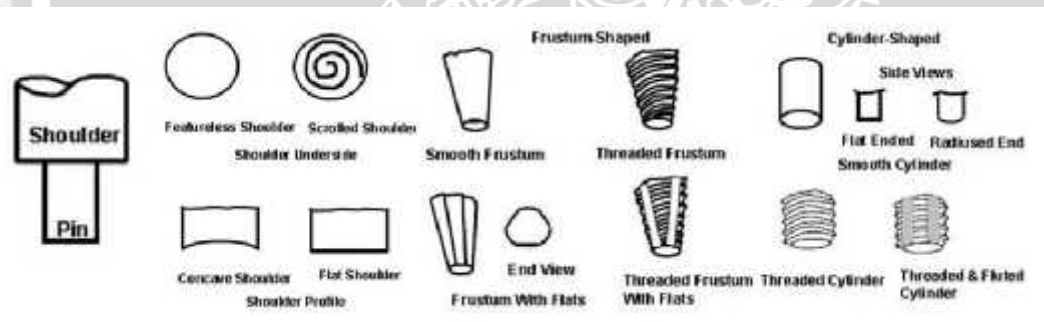
- **Sambungan tumpu (*butt joint*)**; kedua bagian benda yang akan disambung diletakkan pada bidang datar yang sama dan disambung pada kedua ujungnya;
- **Sambungan sudut (*corner joint*)**; kedua bagian benda yang akan disambung membentuk sudut siku-siku dan disambung pada ujung sudut tersebut;
- **Sambungan tumpang (*lap joint*)**; bagian benda yang akan disambung saling menumpang (*overlapping*) satu sama lainnya;
- **Sambungan T (*tee joint*)**; satu bagian diletakkan tegak lurus pada bagian yang lain dan membentuk huruf T yang terbalik;
- **Sambungan tekuk (*edge joint*)**; sisi-sisi yang ditebuk dari ke dua bagian yang akan disambung sejajar, dan sambungan dibuat pada kedua ujung bagian tekukan yang sejajar tersebut.
- **Sambungan beda ketebalan (*dissimilar thickness butt joint*)**, proses penyambungan dengan dua jenis ketebalan material yang berbeda.
- **Sambungan dua sisi (*double sided butt joint*)**, sama seperti sambungan pada butt, namun dilakukan pada dua sisi atas dan bawah.

2.6 Desain Tool

Hal pertama yang harus diperhatikan pada saat merancang *tool* yang akan digunakan adalah pemilihan material yang akan di gunakan, beberapa karakter material yang harus dipenuhi oleh sebuah *tool* adalah :

1. Memiliki kekuatan yang baik di suhu ruang dan di suhu tinggi.
2. Stabilitas material tetap terjaga pada saat suhu tinggi
3. Tahan gesek dan aus.
4. Material yang digunakan tidak bereaksi dengan benda kerja
5. Memiliki ketangguhan yang baik
6. *Thermal expansion* rendah
7. Mampu mesin yang baik
8. Homogen secara *microstructure* dan masa jenis
9. Tersedia luas di pasaran.

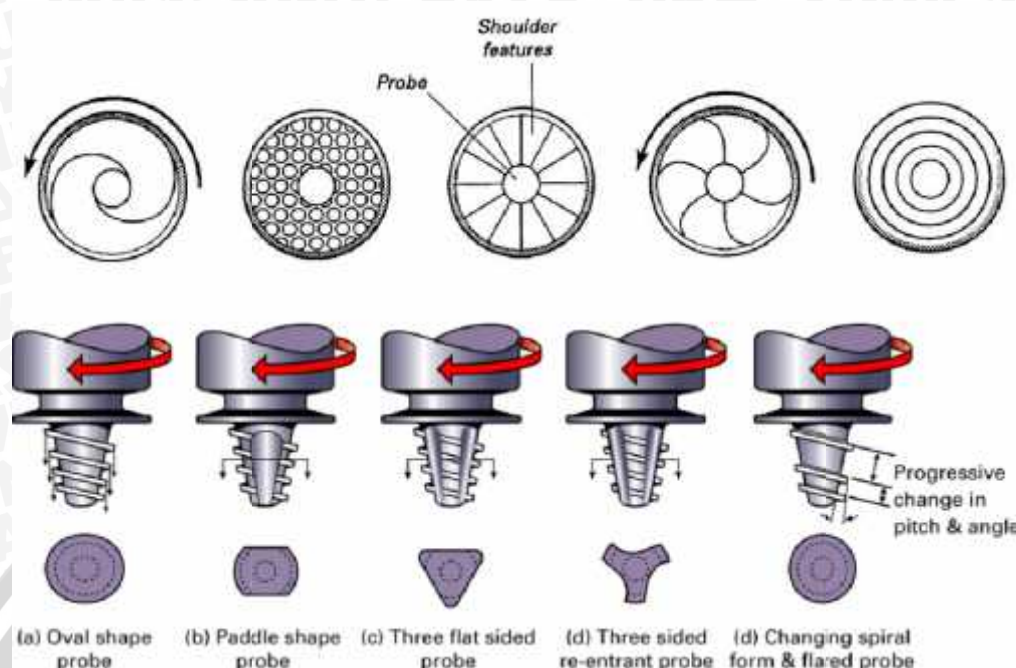
Hal yang kedua adalah bentuk dari *shoulder* dan pin dari *tool*, dua bagian utama dari sebuah *tool* yang di gunakan dalam FSW adalah :



Gambar 2.8 Bentuk *Shoulder Friction Stir Welding*
Sumber : Swanson Industries Inc. 2006

Shoulder, bagian ini adalah bagian yang membangun panas dengan gesekan yang dilakukannya terhadap benda kerja, bagian ini juga yang menjadi penahan material panas yang ada di bawahnya. Disamping itu bagian ini memberikan gaya vertikal ke arah benda kerja yang menjaga kondisi contact *tool* dengan benda kerja.

Material dari *tool* harus memiliki titik lebur lebih tinggi dari material benda kerja yang akan dilas dengan proses las gesek datar (*friction stir welding*). Material *tool* merupakan faktor yang menentukan akan koefisien gesek, dan pembangkitan panas. Oleh karena itu perancangan *tool* merupakan hal yang sangat penting dari FSW.



Gambar 2.9 Bentuk *Pin Friction Stir Welding*
Sumber : Swanson Industries Inc. 2006

Pin/Nib, adalah bagian yang melakukan penetrasi ke dalam benda kerja, dimana bagian dari *tool* ini adalah bagian yang mengaduk material atau mengalirkan material yang sudah melunak akibat panas yang dihasilkan *shoulder*, sehingga dapat menciptakan suatu sambungan antara dua material.

Yang selanjutnya adalah ukuran dari *tool*, diameter *shoulder*, diameter pin, panjang pin dan panjang *tool* secara keseluruhan diatur sesuai dengan proses yang diinginkan yaitu ketebalan benda kerja, kemiringan *tool* pada saat proses, kekuatan sambungan dan *clearence* antar benda kerja.

2.7 Heat Input

Panas merupakan suatu hal yang sangat penting dalam proses pengelasan. Pada proses pengelasan FSW, panas berasal dari *tool* pengelasan yang bergesekan dengan benda kerja. Persamaan *heat input* akibat gesekan antara *tool* pengelasan dan benda kerja adalah sebagai berikut:

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

$$= \int_{R_{\text{probe}}}^{R_{\text{shoulder}}} 2\pi \tau_{\text{contact}} \omega r^2 dr$$

$$Q_{probe\ side} = -\frac{2}{3} \pi \omega \tau_{contact} (R_{shoulder}^3 - R_{probe}^3) \quad (2-2)$$

$$= \int_0^{H_{probe}} 2\pi \tau_{contact} \omega r^2 dz$$

$$= 2 \pi \omega \tau_{contact} R_{probe}^2 H_{probe} \quad (2-3)$$

$$Q_{probe\ tip} = \int_0^{R_{probe}} 2\pi \tau_{contact} \omega r^2 dr$$

$$= \frac{2}{3} \pi \omega \tau_{contact} R_{probe}^3$$

$$Q_{total} = Q_{shoulder} + Q_{probe\ side} + Q_{probe\ tip} \quad (2-3)$$

Atau

$$Q = \frac{2}{3} \pi \omega \tau_{contact} (R_{shoulder}^3 + 3R_{probe}^2 H_{probe}) \quad (2-4)$$

dengan:

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

ω = Kecepatan putar (rad/s)

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

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

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

$\tau_{contact} = \tau_{contact}$ untuk aluminium = $20 \times 10^6 \text{ N/m}^2$

2.8 Kelebihan *Friction Stir Welding*

Adapun kelebihan dari proses pengelasan dengan metode FSW :

- Tidak terjadi pelelehan selama pengelasan
- Bisa mengelas semua jenis Aluminium *alloys*
- Kekuatan las lebih baik dibandingkan dengan *fusion welding*
- Distorsi lebih rendah dari pada *fusion welding*
- Tidak memerlukan bahan pengisi
- Tidak memerlukan gas pelindung
- *Tool welding* dapat digunakan berulang ulang

- Ramah lingkungan
- Energi yang dibutuhkan untuk pengelasan lebih rendah dari *fusion welding*

FSW bisa digunakan untuk mengelas material aluminum (*casting* maupun *alloy*) baik satu atau berbeda series, baja, titanium, tembaga, magnesium *alloy*, logam paduan dan komposit matrik logam FSW dapat digunakan untuk menghasilkan sambungan *butt*, sudut, bertumpuk (*lap*), T, *spot*, dan *fillet* serta dapat digunakan pula untuk penyambung benda berongga, seperti tanki, tabung dan pipa dengan kontur 3 dimensi. Selain untuk membuat sambungan, FSW juga cocok digunakan untuk memperbaiki sambungan yang ada.

2.9 Pengaplikasian *Friction Stir Welding*

Aplikasi FSW di Indonesia khususnya memang tidak begitu luas, tetapi dinegara-negara maju seperti Jepang, Amerika, Inggris dan beberapa negara di Eropa sudah sejak lama mengaplikasikan teknologi ini. Terutama pada industri alat-alat transportasi.

Keuntungan bahwa proses ini tidak menghasilkan deformasi pada part paska proses, membuat industri-industri tersebut menggunakan proses ini. Disamping itu pada industri otomotif pun sudah mulai diaplikasikan, terutama pada proses pengelasan material-material yang tidak mudah di las dengan *arc welding*.

2.10 Aluminium

Aluminium merupakan logam yang sering digunakan dalam bidang perindustrian setelah baja. Logam ini mempunyai beberapa keunggulan jika dibandingkan dengan logam lain. Aluminium termasuk logam ringan yang mempunyai kekuatan tinggi, tahan terhadap korosi, dan merupakan konduktor listrik yang baik (Wirjosumarto Harsono, 2000:113). Adanya penambahan unsur Cu, Mg, Si, Mn, Zn, N dan sebagainya akan meningkatkan kekuatan mekanik mekanik dari aluminium (Tata Surdia, 1999).

Tabel 2.2 Sifat Mekanik Aluminium

Sifat-sifat	Aluminium murni tinggi
Struktur Kristal	FCC
Densitas pada 20°C (sat. 10^3 kg/m^3)	2.698
Titik cair (°C)	660.1
Koefisien mulur panas kawat 20°~100°C ($10^{-6}/\text{K}$)	23.9
Konduktifitas panas 20°~400°C (W/(m K))	238
Tahanan listrik 20°C ($10^{-8} \text{ K}\Omega \text{ m}$)	2.69
Modulus elastisitas (GPa)	70.5
Modulus kekakuan (GPa)	26.0

Aluminium juga merupakan salah satu dari logam *non ferrous* yang mempunyai karakteristik lunak, tahan lama, berat jenis rendah, ketahanan terhadap korosi yang cukup baik dan penghantar listrik yang baik. Material banyak diaplikasikan bukan hanya untuk perabotan rumah tangga juga digunakan untuk keperluan material kapal laut, pesawat terbang, mobil, konstruksi dan sebagainya karena memiliki berbagai keunggulan dari sifat mekaniknya.

Pemakaian aluminium dalam dunia industri yang semakin tinggi, menyebabkan pengembangan sifat dan karakteristik aluminium terus menerus ditingkatkan. Aluminium dalam bentuk murni memiliki kekuatan yang rendah dan tidak cukup baik digunakan untuk aplikasi yang membutuhkan ketahanan deformasi dan patahan, maka dari itu perlu ditambahkan unsur lain untuk meningkatkan kekuatannya. Jenis paduan aluminium saat ini sangat banyak dan tidak menutup kemungkinan ditemukannya lagi jenis paduan aluminium baru, oleh karena itu dibuatlah sistem penamaan sesuai dengan komposisi dan karakteristik paduan aluminium tersebut untuk memudahkan pengklasifikasiannya. Salah satu penamaan paduan aluminium adalah dengan berdasarkan standar AA (*Aluminium Association of America*) dengan menggunakan penamaan 4 angka :

Tabel 2.3 Pengkodean Angka Aluminium

Urutan ke-1	ke-2	ke-3	ke-4	ke-5
A	x	x	x	x
A	1	1	0	0

- Angka ke-1 A adalah singkatan dari Aluminium
- Angka ke-2 : menunjukkan jenis paduannya seperti ditunjukkan di tabel berikut:

Tabel 2.4 Jenis Paduan Aluminium

1 : Aluminium murni dengan kadar 99 % atau lebih	5 : Paduan Al-Mg
2 : Paduan Al-Cu-Mg	7 : Paduan Al-Zn-Mg
3 : Paduan Al-Mn	8 : Paduan selain yang disebutkan
4 : Paduan Al-Si	9 : untuk cadangan penamaan

- Angka ke-3 : menggunakan angka 0 ~ 9. 0 menunjukkan paduan dasar, sedangkan 1 ~ 9 menunjukkan perbaikan dari paduan.
- Angka ke-4 dan 5 menunjukkan kadar kemurnian aluminium untuk aluminium murni.

Contoh pengkodean aluminium, jika pada uji komposisi didapatkan hasil perpaduan unsur sepese seperti berikut:

Tabel 2.5 Hasil Uji Komposisi Aluminium Komersil

Unsur Paduan	Kandungan %	Unsur Paduan	Kandungan %
Al	99,1	Ti	0,0216
Mg	0,0238	Na	0,00025
Si	0,134	Ni	0,0047
Fe	0,576	Pb	0,00097
Cu	0,0772	Sn	0,0038
Mn	0,0060	Sb	0,0018
Cr	0,0012	Sr	0,00016
Zn	0,0060	Zr	0,0014

Sumber : PT. H.P. Metals Indonesia

Dari data diatas maka dapat diperoleh pengkodean aluminum sesuai dengan persamaan AA (*Aluminium Association of America*), seperti berikut:

Urutan ke-1	ke-2	ke-3	ke-4	ke-5
A	1	0	9	0

Dimana pada urutan pertama menunjukkan singkatan Aluminium, pada urutan kedua menunjukkan kandungan aluminium murni dengan kadar lebih dari 99% dikodekan angka 1, Lalu pada urutan ketiga menggunakan kode 0 dimana hanya menunjukkan paduan dasar tanpa perbaikan. Dan pada urutan keempat dan kelima menunjukkan kadar kemurnian yang diperoleh dari unsur lainnya sebesar 0,9 % maka dapat dikodekan seperti diatas.

Tabel 2.6 Sifat Mekanik Alumunium A1090

Sifat – sifat	
Kekuatan tarik (Mpa)	75
Kekerasan (VHN)	108,93
Perpanjangan (%)	2
Kekerasan <i>Brinell</i> (HRb)	50
Density (g/cm ³)	6,0

2.10.1 Sifat - sifat Aluminium

Aluminium memiliki beberapa kelebihan yang melandasi logam ini diaplikasikan dalam kebutuhan industri. Sifat-sifat aluminium ialah:

1. Ringan

Aluminium termasuk dalam jenis logam yang memiliki berat jenis ringan dengan densitas 2.7 gram/cm³, sehingga aluminium banyak dipergunakan dalam pembuatan alat dan benda yang membutuhkan berat ringan dan kekuatan yang baik.

2. Tahan korosi

Aluminium merupakan salah satu logam yang memiliki daya tahan terhadap korosi yang baik, hal ini karena terjadi fenomena pasivasi, yaitu fenomena pembentukan lapisan aluminium oksida pada lapisan luar aluminium segera setelah logam terpapar oleh udara bebas.

3. Mampu bentuk baik

Mudah dibentuk dan memiliki mampu mesin yang baik merupakan salah satu sifat alumunium, dengan adanya sifat ini yang menyebabkan aluminium menjadi aplikatif untuk berbagai jenis komponen mesin.

4. Dapat didaur ulang

Dapat diproses ulang, kemampuan pada aluminium untuk didaur ulang dapat mengurangi biaya pembuatan, khususnya saat proses peleburan karena tidak membutuhkan energi yang terlalu tinggi saat melebur aluminium daur ulang.

5. Penghantar Listrik yang Baik

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

2.10.2 Kekuatan Mekanik Aluminium

Aluminium memiliki beberapa kekuatan mekanik yaitu :

1. Kekerasan

Kekerasan merupakan kemampuan suatu material untuk menerima beban dari luar. Pada material aluminium murni yang mempunyai kadar 99.99% nilai kekerasan yang didapat adalah sebesar 17 *BHN*. Tetapi jika ditambahkan unsur paduan maka nilai kekerasan aluminium ini akan meningkat. Sebagai contoh, pada paduan aluminium dengan 4.5% Cu, 1.5% Mg, 0.5% Mn yang biasa disebut paduan 2024 mempunyai kekerasan 220 *BHN*. (Surdia, 1999 : 137)

2. Kekuatan Tarik

Kemampuan suatu material untuk menerima gaya sejajar dengan sumbunya dengan arah gaya yang berlawanan tanpa mengalami kerusakan. Dengan kata lain kemampuan suatu material untuk menahan tegangan tarik maksimum sebelum mengalami patah/*fracture*. Untuk aluminium murni dengan kadar aluminium sebesar 99.99% kekuatan tarik maksimum adalah 4.9 Kg/mm².

3. Kekuatan Puntir

Kemampuan suatu material untuk menerima gaya sejajar dan gaya rotasi tanpa mengalami slip.

4. Kekuatan *Impact*

Kekuatan *impact* adalah kemampuan suatu bahan untuk menahan beban dinamis atau beban kejut yang dapat menyebabkan benda mengalami rusak atau patah.

2.10.3 Sifat Mampu Las Aluminium

Dalam proses pengelasan, paduan aluminium memiliki sifat yang kurang baik bila dibandingkan dengan logam baja. Sifat - sifat yang kurang baik tersebut dapat menyebabkan kerugian sebagai berikut :

1. Aluminium memiliki sifat daya hantar panas yang tinggi yang membuat aluminium sukar untuk dipanaskan lalu mencairkan di suatu bagian untuk proses pengelasan.
2. Aluminium mudah untuk teroksidasi dan membentuk oksida aluminium yang mempunyai titik cair yang tinggi. Sifat ini yang membuat antara logam induk dan logam las sulit untuk dilakukan peleburan.
3. Memiliki nilai koefisien muai yang besar yang membuat aluminium mudah sekali terjadi deformasi sehingga mudah terbentuk retakan yang diakibatkan oleh pemanasan.
4. Paduan aluminium memiliki berat jenis yang rendah, sehingga pada proses pengelasan banyak terbentuk zat-zat lain yang tidak diharapkan masuk ke dalam benda kerja.
5. Karena memiliki titik lebur dan viskositas yang rendah, maka daerah yang terkena panas mudah mencair dan jatuh menetes.

Oleh karena itu pengelasan pada aluminium dapat menimbulkan kerugian yang merupakan cacat pada pengelasan seperti :

1. Retak las, merupakan retak panas yang terjadi pada proses pembekuan dan pencairan. Retak pada proses pembekuan disebabkan karena adanya penyusutan butir logam yang membeku dan dapat menimbulkan retak manik membujur, retak manik melintang, dan retak kawah. Retak pada proses pencairan disebabkan karena adanya pengendapan dari unsur bertitik cair rendah seperti Mg, Si, Cu, dan Zn.
2. Lubang – lubang halus, hal ini disebabkan oleh gas – gas hidrogen yang larut dan terjebak di dalam aluminium pada saat cair. Karena batas kelarutan turun pada saat pendinginan maka proses pembekuan yang cepat menyebabkan gas tersebut terperangkap dan membentuk gelembung halus.
3. Pengaruh panas pengelasan, hal ini dapat menyebabkan terjadinya pencairan sebagian, rekristalisasi butir, pelarutan padat, dan pengendapan. Perubahan struktur butir tersebut biasanya mengakibatkan menurunnya kekuatan mekanik dan ketahanan korosi pada aluminium, dapat juga menjadikan daerah pengelasan menjadi bersifat getas. (Wiryosumarto, 2008 : 115 & 116)

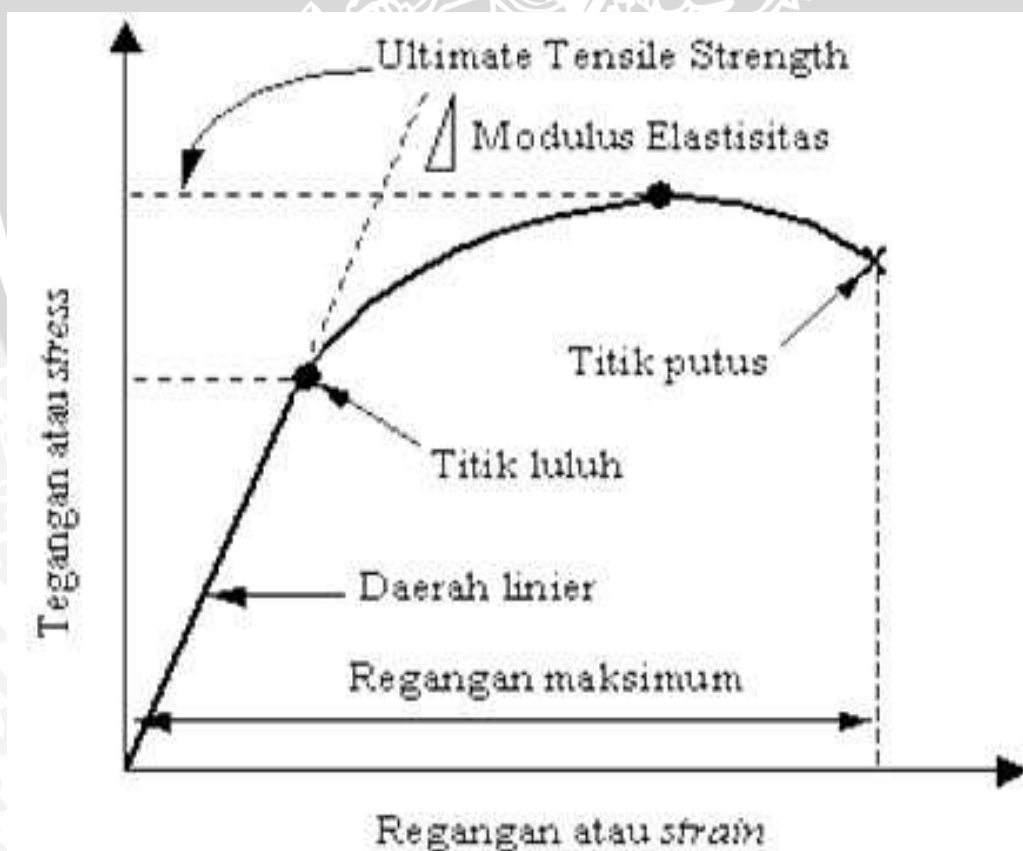
2.11 Kekuatan Tarik

Pengujian ini termasuk dalam pengujian yang merusak benda kerja (*Desuctive Test*) dimana memberi gaya tarik berlawanan arah pada salah satu ujung benda kerja yang fungsinya mengetahui kekuatan tarik suatu benda.

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 oleh benda uji.

Proses pengujian tarik banyak dilakukan untuk melengkapi informasi rancangan dasar kekuatan pada suatu bahan dan sebagai data pendukung bagi spesifikasi bahan tersebut.

Pada proses pengujian tarik, beban yang diberikan pada spesimen yang akan diuji diberikan secara *continue* dan pelan-pelan dengan beban yang terus meningkat. Kemudian dilakukan pengamatan tentang perpanjangan yang dialami benda uji dan dihasilkan kurva tegangan regangan seperti gambar dibawah ini.



Gambar 2.10 Grafik hubungan tegangan – regangan aluminium
Sumber: Aluminium Automotive Manual, 2002 : 3

Dari kurva tegangan-regangan pada gambar 2.9 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. Titik Luluh

Titik awal terjadinya pertambahan 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 mengalami penurunan.

4. *Ultimate Tensile Strength*

Titik 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. Titik Putus

Titik terjadinya putus pada spesimen. Pada titik nol sampai daerah luluh, tegangan berbanding lurus sehingga membentuk kurva yang linear dengan regangan yang mempunyai kecuraman tertentu.

Pengujian tarik pada daerah las dimaksudkan untuk mengetahui apakah kekuatan las setelah dikenai perlakuan yang berbeda akan mempunyai nilai yang sama, lebih rendah atau lebih tinggi. Pengujian tarik untuk mengetahui kualitas kekuatan tarik dimaksudkan untuk mengetahui hasil kekuatan dan letak terjadinya putus suatu sambungan las.

Tegangan tarik yang diterima benda uji tarik dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{F}{A_0} ; (\text{N/mm}^2)$$

dengan :

σ = Tegangan tarik (N/mm²)

F = Beban tarik (N)

A₀ = Luas penampang awal spesimen (mm²)

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

$$\varepsilon = \frac{(L - L_0)}{L_0} \times 100 \%$$

dengan :

ε = Regangan (%)

L_0 = Panjang awal lengan uji / ukur (mm)

L = Panjang akhir lengan uji / ukur (mm)

2.12 Hipotesis

Pengelasan yang dilakukan dengan las gesek datar terdapat tahap pengelasan yang semua variabelnya dapat mempengaruhi satu sama lain. Dalam penelitian kali ini variabel yang digunakan adalah kecepatan putar dan *feed rate*, dimana kedua variabel tersebut dapat mempengaruhi hasil suatu proses pengelasan. Apabila dalam melaksanakan proses pengelasan, variasi kecepatannya tinggi maka hal ini dapat mempengaruhi penyebaran panasnya tinggi yang disebabkan bertambahnya gaya gesek yang terjadi pada daerah pengelasan semakin tinggi.

Hal tersebut dapat mempengaruhi adukan mekanik yang diakibatkan gaya sentripetal pada *tool* semakin baik dimana adukan tersebut akan mempengaruhi hasil ikatan pada spesimen. Apabila ikatan yang terjadi semakin baik maka akan mempengaruhi nilai kekuatan tarik yang akan dihasilkan. Dan juga pada saat penambahan *feed rate* juga akan mempengaruhi waktu pengelasan, dimana jika *feed rate* semakin tinggi maka waktu pengelasan juga semakin cepat. Hal tersebut juga akan mempengaruhi hasil pada saat adukan yang terjadi kurang baik.

Dari rangkuman diatas, maka dapat saya tarik kesimpulan sementara (hipotesa) Bahwa semakin tinggi kecepatan putar pada *tool* maka semakin tinggi hasil kekuatan tarik pengelasan suatu material. Hal ini berbanding terbalik dengan *feed rate*, dimana semakin tinggi *feed rate* maka waktu yang dibutuhkan untuk melakukan pengelasan maka akan semakin cepat sehingga nilai hasil kekuatan tarik pengelasannya akan semakin kecil.