

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Lin dkk (1999) telah melakukan penelitian yang berjudul “*The effect of Joint Design and Volume Fraction on Friction Welding Properties of A360/SiC Composites*” menjelaskan bahwa specimen pengelasan gesek yang diberi sudut *chamfer* memiliki nilai kekuatan tarik yang lebih tinggi dibandingkan dengan tidak menggunakan sudut *chamfer*. Dari penelitiannya menjelaskan bahwa sudut *chamfer* mempunyai pengaruh terhadap pengelasan gesek.

Pada penelitian yang telah dilakukan Sahin dan Misirli (2007) tentang las gesek, dengan spesimen baja AISI 304 didapatkan bahwa kekuatan tarik pada sambungan akan terus meningkat seiring peningkatan waktu gesekan serta tekanan. kekuatan maksimum yang diperoleh hingga 92% dari kekuatan tarik baja *austenite*.

Sementara itu Iswar dkk (2012) juga telah meneliti masalah ini dengan judul “Pengaruh Variasi Parameter Pengelasan (Putaran dan Temperatur) Terhadap Kekuatan Sambungan Las Hasil *Friction Welding* Pada Baja Karbon Rendah” mendapatkan hasil kalau semakin tinggi putaran maka kekuatan tarik dan kekuatan puntir yang dihasilkan akan semakin besar.

Ardhiyanto dkk (2010), dalam penelitian pengelasan gesek pada paduan Al – Mg – Si menyimpulkan bahwa penggunaan *friction time* mempengaruhi kekuatan tarik dari sambungan las gesek, dimana kekuatan tarik rata – rata tertinggi pada *friction time* 60 detik dengan kekuatan tarik 136,92 N/mm² dan kekuatan tarik terendah pada *friction time* 180 detik yakni 74,74 N/mm². Dari hasil foto makrostruktur, kekuatan tarik sambungan dipengaruhi oleh sempit luasan HAZ (*Heat Affected Zone*) yang dihasilkan, sedikit tidaknya porositas, serta besarnya luasan daerah *fully plasticized*.

Irawan dkk (2012), pada penelitiannya pengelasan gesek Al – Mg – Si menyimpulkan bahwa kekuatan tarik pada aluminium paduan Al-Mg-Si dengan variasi sudut 15°,30°,45°,60°,dan 75° dan penekanan 123kgf serta gaya tekan akhir 157 kgf dengan waktu penekanan 2 menit diperoleh nilai kekuatan tarik terbesar pada sudut 30° dan hasil mikrostruktur kekuatan tinggi pada spesimennya, ini disebabkan oleh luas maksimum zona plastis, porositas minimum serta luas minimum zona yang terkena dampak panas.

2.2 Aluminium

Aluminium merupakan unsur logam yang paling banyak terkandung di bumi. Aluminium ditemukan pada tahun 1827 oleh Friedrich Wöhler, seorang ahli kimia asal Jerman. Aluminium terdapat pada permukaan bumi dalam bentuk senyawa kimia yang disebut bauksit yang merupakan bijih aluminium dengan komposisi yang terdiri atas tanah tawas, aluminium oksida, besi oksida dan asam silikat.

Bauksit dapat ditemukan cukup merata di berbagai negara di Eropa seperti Prancis, Italia dan negara-negara Balkan. Selain itu Rusia, Hongaria, Afrika, Amerika, Asia dan Australia juga dapat ditemukan bauksit. Indonesia sendiri memiliki potensi eksplorasi bauksit di beberapa wilayah diantaranya daerah Riau, Kalimantan Barat, dan Kalimantan selatan. Akan tetapi, dalam hal pengolahan bauksit tersebut masih belum maksimal karena Indonesia belum memiliki *smelter* untuk pengolahan bauksit.

Pada umumnya aluminium dapat diperoleh dalam keadaan murni hingga memiliki kandungan 99,9 % atau kandungan terendah 99 %, memiliki nilai kekuatan tarik 60 N/mm² dan nilai kekuatan tarik ini dapat ditingkatkan melalui proses pengerjaan dingin hingga 140 N/mm² serta akan meningkat lagi tergantung panjangnya proses pengerjaan tersebut. Sifat korosi *atmospheric* terjadi pada aluminium yang disebabkan oleh proses persenyawaan aluminium dengan udara yang mengakibatkan terbentuknya lapisan film setebal kurang lebih 13×10^{-6} mm yang bersifat *adhesive* pada permukaannya sehingga melindunginya dari pengaruh udara berikutnya.

Aluminium mempunyai beberapa keunggulan jika dibandingkan dengan logam lain. Aluminium termasuk logam ringan yang mempunyai kekuatan tinggi, tahan korosi, dan merupakan konduktor listrik yang baik (Wiryosumarto, 2000:113). Aluminium merupakan logam yang paling banyak digunakan setelah baja. Karakteristik utamanya adalah ringan (berat jenis = 2,7 gr/cm³) dibandingkan dengan baja (berat jenis = 7,8 gr/cm³), serta memiliki keuletan yang cukup tinggi. Dari sifat-sifat tersebut maka aluminium banyak digunakan secara luas di perindustrian. Data sifat fisik aluminium paduan dapat dilihat pada tabel 2.1

Tabel 2.1
Sifat Fisik *Aluminum Alloys*

<i>Aluminum Alloys</i>	<i>Density</i>		<i>Heat Capacity</i>		<i>Thermal Conductivity</i>		<i>Thermal Diffusivity</i>	
	<i>g/cm³</i>	<i>lb/in³</i>	<i>j/kg K</i>	<i>cal_{ir}/g.°C</i>	<i>W/m.K</i>	<i>cal_{ir}/cm.s.°C</i>	<i>mm²/s</i>	<i>cm²/s</i>
1100	2,71	0,098	963	0,23	222	0,53	85	0,85
2014	2,80	0,101	963	0,23	193	0,46	71	0,71
5052	2,68	0,097	963	0,23	138	0,33	54	0,54
6061	2,70	0,098	963	0,23	172	0,41	66	0,66
7075	2,80	0,101	963	0,23	121	0,29	45	0,45

Sumber : Eagar, ASM Handbook Vol. 06 (1993)

Pada Tabel 2.1 dapat dilihat perbandingan sifat fisik antara berbagai paduan aluminium paduan seperti massa jenis terkecil dimiliki oleh aluminium paduan 5052 dengan 2,68 g/cm³ sementara massa jenis terbesar dimiliki oleh aluminium paduan 7075 dan aluminium paduan 2014 sebesar 2,80 g/cm³. Selain itu, konduktivitas termal yang menunjukkan seberapa besar bahan tersebut dapat menghantarkan panas tertinggi dimiliki oleh aluminium paduan 1100 sebesar 222 W/m.K dan yang terendah dimiliki oleh aluminium paduan 7075 sebesar 121 W/m.K. Sementara untuk difusivitas termal atau kemampuan sebuah bahan dalam menyerap panas tertinggi dimiliki oleh aluminium paduan 1100 sebesar 85 mm²/s dan yang terendah dimiliki oleh aluminium paduan 7075 sebesar 45 mm²/s

Sementara itu, standar komposisi kimia yang terdapat pada aluminium paduan A 6061-T6 dapat dilihat pada tabel 2.2

Tabel 2.2
Komposisi Kimia A6061-T6

Paduan	Al (%)	Mg (%)	Si (%)	Fe (%)	Mn (%)	Zn (%)	Cu (%)	Cr (%)	Ti (%)	Kandungan lainnya (%)
6061	95,8-	0,80-	0,40-	Max	Max	Max	0,15-	0,040-	Max	
	98,6	1,2	0,80	0,70	0,15	0,25	0,40	0,35	0,15	Max 0,15

Sumber : ASM Aerospace Specification Metals Inc. (2015)

Tabel 2. 3
Sifat Mekanik Paduan A6061-T6

Keadaan	Kekuatan tarik (kgf/mm ²)	Kekuatan mulur (kgf/mm ²)	Perpanjangan (%)	Kekuatan geser (kgf/mm ²)	Kekerasan brinell	Batas leleh (kgf/mm ²)
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: 140)

Pada tabel 2.2 dapat dilihat bahwa kandungan yang paling dominan selain kandungan unsur aluminium itu sendiri dalam aluminium 6061 adalah unsur magnesium dan unsur silikon. Adanya kandungan Magnesium dan Silikon untuk meningkatkan daya tahan karat aluminium. Unsur Mg juga meningkatkan sifat mampu mesin dan mampu bentuk dari aluminium tanpa mengurangi sifat *ductile* serta membuat aluminium paduan tersebut mampu dilas dengan baik, sedangkan pada tabel 2.3 menjelaskan sifat mekanik dari A6061 dan yang akan digunakan pada penelitian ini adalah A6061-T6.

2.2.1 Penggolongan Aluminium Paduan

Sistem empat digit yang digunakan untuk mengidentifikasi aluminium dan paduan aluminium. Penetapan standarisasi logam aluminium menurut *American Standart Testing Materials* (ASTM) mempergunakan angka dalam menetapkan penggolongan aluminium paduan. Cara penggolongan aluminium berdasarkan paduannya ditunjukkan pada tabel 2.4

Tabel 2.4
Sistem Penamaan Paduan Aluminium Tempa

Unsur Paduan Utama	No. Seri
Aluminum, 99% dan lebih besar	1xxx
Copper	2xxx
Manganese	3xxx
Silicon	4xxx
Magnesium	5xxx
Magnesium dan Silicon	6xxx
Zinc	7xxx
Unsur Lain	8xxx

Sumber: Avner, (1997 : 484)

Cara pembacaan penggolongan aluminium berdasarkan tabel 2.4 :

1. Angka pertama menunjukkan jenis – jenis unsur paduan yang terdapat pada logam aluminium.
2. Angka kedua menunjukkan sifat khusus misalnya : angka kedua menunjukkan bilangan nol (0) maka tidak memerlukan perhatian khusus dan jika angka kedua menunjukkan angka satu (1) sampai dengan sembilan (9) memerlukan perhatian khusus.
3. Dua angka terakhir tidak mempunyai pengertian, tetapi hanya menunjukkan modifikasi dari paduan dalam perdagangan.

Contoh pembacaan:

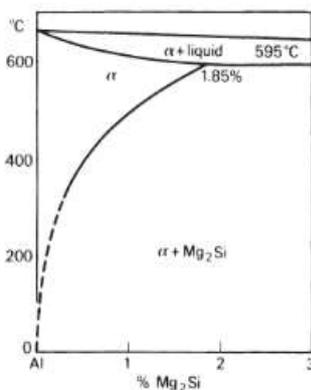
1. ASTM 2017 artinya Adalah paduan aluminium – *copper* tanpa perhatian khusus dan mengalami modifikasi dari paduan Al – Cu
2. ASTM 6061 artinya Adalah paduan aluminium – magnesium – silikon tanpa perhatian khusus dan mengalami modifikasi dari paduan Al – Mg - Si
3. ASTM 1030 artinya Adalah aluminium murni tanpa perhatian khusus, dengan kadar aluminium sebesar 99,30%
4. ASTM 1230 artinya Adalah aluminium murni dengan perhatian khusus dengan kadar aluminium sebesar 99,30

Penetapan standarisasi logam aluminium menurut *American society for materials* (ASTM) adalah dengan menggunakan angka untuk menetapkan penggolongan aluminium paduan. Adapun sifat umum dari berbagai jenis paduan menurut ASTM adalah sebagai berikut:

1. Aluminium Murni (kandungan aluminium 99%), seri 1xxx
 - a. Memiliki kemurnian antara 99%-99.9%
 - b. Tahan karat
 - c. Konduksi panas dan konduksi listrik
 - d. Kekuatan rendah
2. Copper (Al-Cu), seri 2xxx
 - a. Tidak tahan korosi
 - b. Sifat mampu lasnya kurang baik, sehingga banyak digunakan pada pesawat terbang dan konstruksi keeling
3. Manganase (Al-Mn), seri 3xxx
 - a. Tidak dapat diberikan perlakuan panas sehingga untuk memperbaiki kekuatannya hanya bisa dilakukan dengan cara pengerjaan dingin dalam pembuatannya

- b. Tahan korosi
 - c. Memiliki kekuatan yang tinggi
 - d. Sifat potong dan sifat mampu las yang baik
4. Silicon (Al-Si), seri 4xxx
 - a. Tidak dapat diperlakukan panas
 - b. Dalam keadaan cair memiliki sifat mampu alir yang baik dan dalam pembekuannya tidak terjadi retak
 5. Magnesium (Al-Mg), seri 5xxx
 - a. Tahan terhadap korosi
 - b. Memiliki sifat mampu las yang baik tapi tidak dapat diperlakukan panas
 6. Magnesium dan silikon (Al-Mg-Si), seri 6xxx
 - a. Dapat diperlakukan panas
 - b. Memiliki sifat potong
 - c. Daya tahan terhadap korosi yang baik
 - d. Memiliki sifat mampu las yang baik
 7. Zinc (Al-Zn), seri 7xxx
 - a. Dapat diperlakukan panas
 - b. Tahan korosi
 - c. Unsur yang ditambahkan adalah Mg, Cu dan Cr

Paduan Al – Mg – Si termasuk dalam jenis yang dapat diperlakukan-panaskan dan mempunyai sifat mampu potong yang baik, mampu las, dan daya tahan korosi yang baik. Apabila Magnesium dan Silikon dipadukan maka akan membentuk Magnesium Silikat (Mg_2Si). Diagram fasa Al- Mg – Si ditunjukkan pada gambar 2.2



Gambar 2.1 Diagram fase *Pseudo-binary* pada paduan Al-Mg-Si
Sumber : Polmear (1995 : 63)

Pada gambar 2.1 menunjukkan tentang diagram fasa Al – Mg – Si, diagram fasa ini bertujuan untuk mengetahui perubahan fasa yang terjadi pada material akibat perubahan temperatur maupun perubahan kandungan unsur paduan magnesium-silikon. Al – Mg – Si memiliki titik lebur 595°C hingga memasuki fasa austenit yang merupakan daerah transisi antara fasa padat menjadi cair. Titik cair Al – Mg – Si sendiri berada pada suhu 660°. Pada pengelasan gesek, material tidak perlu mencair untuk dilakukan penyambungan. Material tersebut hanya perlu mencapai suhu rekristalisasi sehingga bisa menyatu. Suhu rekristalisasi dapat diketahui dengan rumus :

$$T_r = 0,4 - 0,5 T_c \text{ (}^\circ\text{C)} \dots\dots\dots (2-1)$$

Dengan :

T_r = Temperatur rekristalisasi (°C)

T_c = Temperatur cair Al – Mg – Si (°C)

2.2.2 Sifat Mampu Las Aluminium

Dalam hal pengelasan, paduan aluminium mempunyai sifat yang kurang baik bila dibandingkan dengan baja. Sifat – sifat yang kurang baik atau merugikan tersebut sebagai berikut :

1. Panas jenis dan daya hantar panasnya tinggi maka sukar sekali untuk memanaskan dan mencairkan sebagian kecil saja.
2. Mudah teroksidasi dan membentuk oksida aluminium Al_2O_3 yang mempunyai titik cair yang tinggi. Karena sifat ini maka peleburan antara logam dasar dan logam las menjadi terhalang.
3. Paduan aluminium mempunyai berat jenis rendah, karena itu banyak zat – zat lain yang terbentuk selama pengelasan akan tenggelam. Keadaan ini memudahkan tergantungnya zat – zat yang tidak dikehendaki ke dalamnya.
4. Karena titik cair dan viskositasnya rendah, maka daerah yang kena pemanasan mudah mencair dan jatuh menetes.

2.3 Pengelasan

2.3.1 Definisi Pengelasan

Las (*welding*) adalah suatu cara untuk menyambung benda padat dengan jalan mencairkannya melalui pemanasan (sriwidharto, 1996). Sedangkan definisi dari *Deutche*

Industri Normen (DIN) las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Las adalah sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas (Wiryo Sumarto, 2000).

2.3.2 Klasifikasi Pengelasan

Pengklasifikasian las dibagi menjadi 2 macam yaitu klasifikasi berdasarkan cara kerja dan klasifikasi berdasarkan energi yang digunakan. Klasifikasi yang pertama membagi las dalam kelompok las cair, las tekan, las patri dan lain lain. Sedangkan klasifikasi yang kedua membedakan adanya kelompok-kelompok seperti las listrik, las kimia, las mekanik dan seterusnya. Diantara kedua pengklasifikasian tersebut, klasifikasi las berdasarkan cara kerja lebih banyak digunakan. Klasifikasi las berdasarkan cara kerja dibagi menjadi tiga, yaitu:

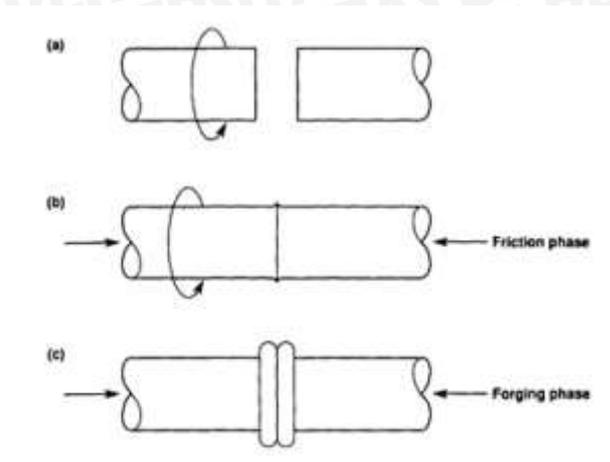
1. Pengelasan cair adalah cara pengelasan dimana sambungan dipanaskan sampai mencair dengan sumber panas dari busur listrik atau semburan api gas yang terbakar.
2. Pengelasan tekan adalah cara pengelasan dimana sambungan dipanaskan dan kemudian ditekan hingga menjadi satu
3. Pematrian adalah cara pengelasan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

2.4 Las Gesek (*Friction Welding*)

2.4.1 Definisi Las Gesek (*Friction Welding*)

Pengelasan gesek (*friction welding*) adalah proses pemanfaatan panas untuk penyambungan yang dihasilkan oleh gerak relatif dari dua permukaan yang akan disambungkan. Metode ini memanfaatkan perubahan langsung dari energi gerak menjadi energi panas untuk penyambungan tanpa ada sumber panas dari luar. Berdasarkan cara penggesekannya *friction welding* dibagi menjadi dua yaitu :

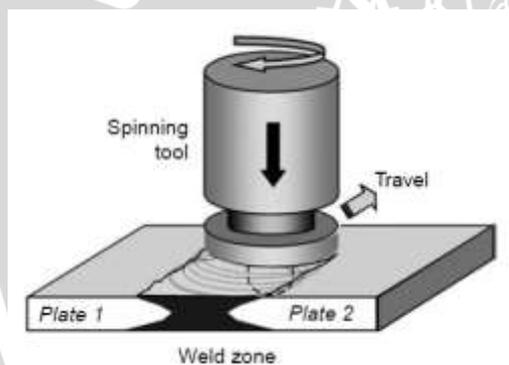
- a. Las gesek dengan sumber panas dari gesekan kedua permukaan benda kerja itu sendiri, contohnya *continuous drive friction welding*.



Gambar 2.2 Mekanisme Las Gesek

Sumber : Elmer, ASM Handbook Vol. 06 (1993)

- b. Las gesek dengan sumber panas dari gesekan kedua permukaan benda kerja yang akan dilas dengan pahat (*tool*), contohnya *friction stir welding*. pengelasan ini dapat dilakukan pada penyambungan dua logam yang berbeda jenisnya. Ini merupakan kelebihan dari pengelasan ini.



Gambar 2.3 Friction stir welding

Sumber : Blau (2008:385)

2.4.2 Kelebihan Friction Welding

Ada beberapa hal yang harus menjadi pertimbangan dalam penyambungan logam. Sama halnya ketika *Friction welding* harus dilakukan untuk menyambung logam. Ada beberapa kelebihan dari pengelasan ini yakni :

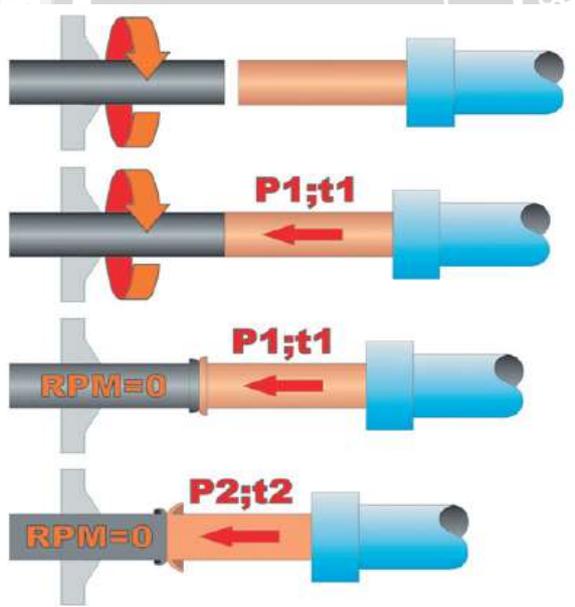
1. Biaya yang murah dalam melaksanakan *friction welding*.
2. Daerah HAZ yang dihasilkan dalam pengelasan ini sangat sempit.
3. Kekuatan yang dihasilkan pada sambungan *friction welding* hampir sama dengan kekuatan logam induk.
4. Dapat dilakukan pada logam yang berbeda.
5. Meminimalisir energi yang dibutuhkan ketika proses pengelasan.

- Pengelasan pada temperatur rendah dapat mempertahankan mikrostruktur dan sifat material

2.5 Continuous Drive Friction Welding

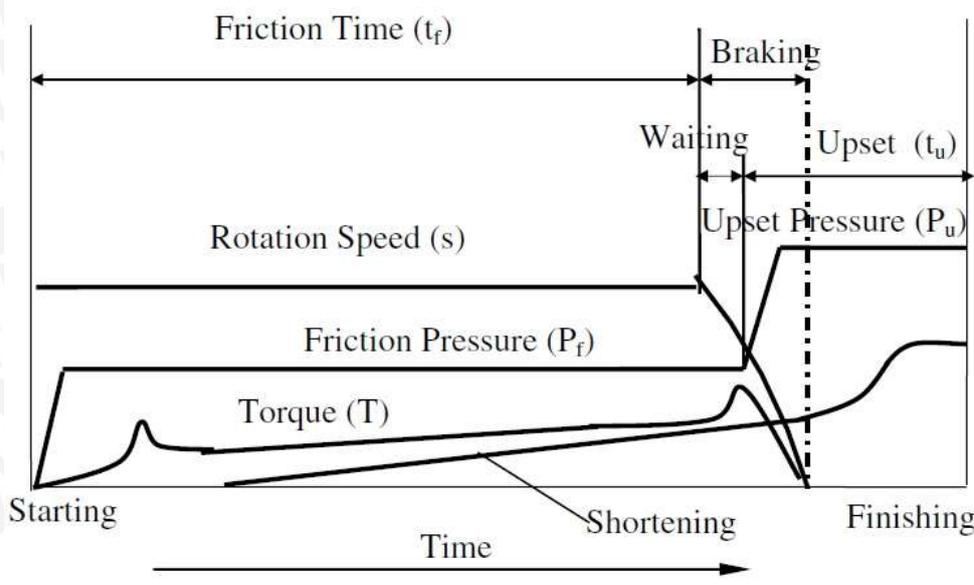
Las gesek merupakan pengelasan yang memanfaatkan panas yang berasal dari gesekan langsung dari benda itu sendiri dimana salah satu benda kerja diputar dan satunya diam dan menekan.

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 penekan tersebut timbul panas sehingga partikel dari dua logam dapat saling berikatan dan perputaran yang terjadi mengakibatkan partikel dari dua benda tersebut teraduk. Sedangkan penekanan menyebabkan partikel terdorong mengisi celah-celah kosong sekaligus mengeluarkan udara. Dari proses ini menghasilkan proses penyambungan logam tanpa pencairan atau yang dinamakan *solid state process*.



Gambar 2.4 Continuous Drive Friction Welding
Sumber : Alves dkk (2012)

Pada pengelasan las gesek ini terdapat parameter-parameter yang harus diperhatikan ketika proses penyambungan, Terutama parameter waktu dan gaya yang diberikan ketika proses pengelasan.



Gambar 2.5 Parameter friction welding
 Sumber: Sahin (2008)

Dari gambar di atas terdapat beberapa parameter yang harus diketahui sebelum melakukan pengelasan gesek, yaitu :

1. *Friction Time*

Friction time adalah waktu yang dibutuhkan logam untuk bergesekan hingga dapat menyatu dalam proses pengelasan gesek. Untuk parameter ini dapat juga diganti dengan *burn-off length (BOL)*. *Burn-off length* adalah panjang dari sebagian logam yang akan habis karena panas yang timbul akibat gesekan saat proses pengelasan gesek dan membuat dua logam yang bergesekan menyatu.

2. *Friction Pressure*

Friction pressure adalah tekanan yang diberikan pada logam yang tidak berputar sehingga dapat menekan logam yang berputar dan mengakibatkan gesekan. Tekanan tersebut menghasilkan panas yang semakin besar sehingga dapat melunakkan bagian yang bergesekan dan dua logam tersebut dapat menyatu.

3. *Upset Time*

Upset time adalah waktu yang diberikan kepada dua buah logam yang telah menyatu akibat pengelasan gesek untuk proses penahanan (*holding*) agar ikatannya semakin kuat.

4. *Upset Pressure*

Upset pressure adalah tekanan tambahan yang diberikan setelah dua buah logam menyatu akibat pengelasan gesek untuk memperkuat ikatan yang terbentuk.

2.6 Pengujian Tarik

Pengujian tarik yaitu pengujian yang bertujuan untuk mendapatkan gambaran tentang sifat mekanik dari suatu logam ketika mendapatkan tegangan tarik. Pengujian tarik dilakukan dengan penambahan beban secara perlahan-lahan, kemudian akan terjadi pertambahan panjang yang sebanding dengan gaya yang bekerja. Kesebandingan ini terus berlanjut sampai bahan mencapai titik *propotionality limit*. Setelah itu pertambahan panjang yang terjadi sebagai akibat penambahan beban tidak lagi berbanding lurus, pertambahan beban yang sama akan menghasilkan penambahan panjang yang lebih besar dan suatu saat terjadi penambahan panjang tanpa ada penambahan beban, batang uji bertambah panjang dengan sendirinya. Hal ini dikatakan batang uji mengalami yield (luluh). Keadaan ini hanya berlangsung sesaat dan setelah itu akan naik lagi.

Kenaikan beban ini akan berlangsung hingga mencapai maksimum, untuk batang yang ulet beban mesin tarik akan turun lagi sampai akhirnya putus. Pada saat beban mencapai maksimum, batang uji mengalami pengecilan penampang setempat (*local necking*) dan penambahan panjang terjadi hanya disekitar necking tersebut. Pada batang getas tidak terjadi necking dan batang akan putus pada saat beban maksimum

Kekuatan tarik maksimum merupakan kemampuan bahan untuk menerima beban tarik tanpa mengalami kerusakan dan dinyatakan sebagai tegangan maksimal sebelum putus. Nilai kekuatan tarik biasa dianggap data paling penting karena biasanya perhitungan-perhitungan nilai kekuatan berdasarkan nilai kekuatan tarik. Pada uji tarik, benda uji diberi beban gaya tarik searah sumbu spesimen. Tegangan tarik didefinisikan sebagai distribusi tegang tarik persatuan luas penampang bahan, yang dirumuskan :

$$\sigma_{max} = \frac{F_{max}}{A} \text{ (N/m}^2\text{)} \dots\dots\dots(2 - 2)$$

dengan :

σ_{max} = Tegangan tarik maksimum (N/m²)

F_{max} = Beban tarik maksimum (N)

A = Luas penampang (m²)

Regangan (pertambahan panjang) dapat dituliskan perumusan sebagai berikut

$$\varepsilon = \frac{(L-L_0)}{L_0} \times 100\% \dots\dots\dots(2 - 3)$$

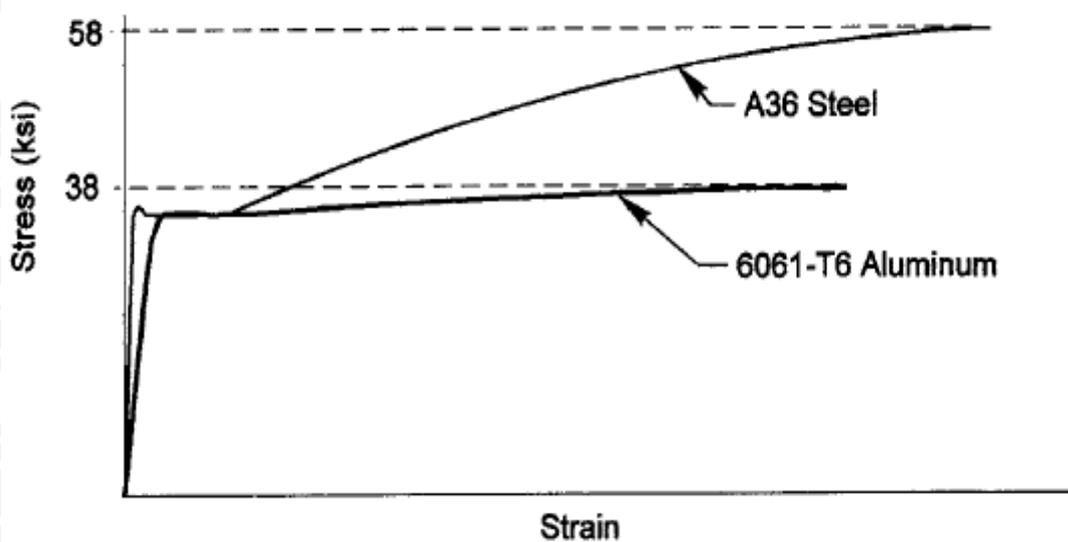
Dengan :

ε = Regangan (%)

L_0 = Panjang benda uji mula-mula (m)

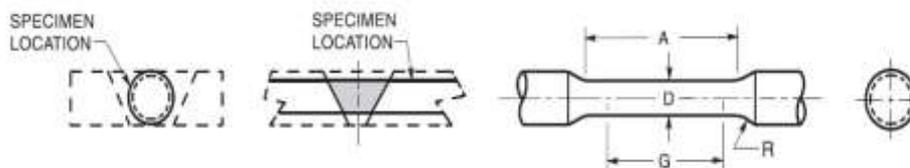
L = Panjang benda uji akhir (m)

Perbedaan kurva tidaklah terlalu besar pada regangan yang kecil, tetapi menjadi signifikan pada rentang terjadinya pengerasan regangan (*strain hardening*) yaitu setelah titik luluh terlampaui. Dan secara khusus perbedaan menjadi demikian besar dalam daerah *necking*. Diagram tegangan-regangan akan menunjukkan besarnya regangan dari spesimen saat diberikan tegangan tertentu. Semakin besar tegangan dan semakin kecil regangan maka spesimen tersebut memiliki kekuatan tarik yang baik karena spesimen tersebut tidak mengalami deformasi plastis akibat adanya beban yang diberikan. Diagram tegangan-regangan aluminium dapat dilihat pada gambar 2.6



Gambar 2.6 Diagram Tegangan – Regangan Aluminium
Sumber : Timoshenko & Gere (1991:15)

Gambar 2.7 dibawah merupakan contoh bentuk spesimen uji tarik berdasarkan standar AWS.



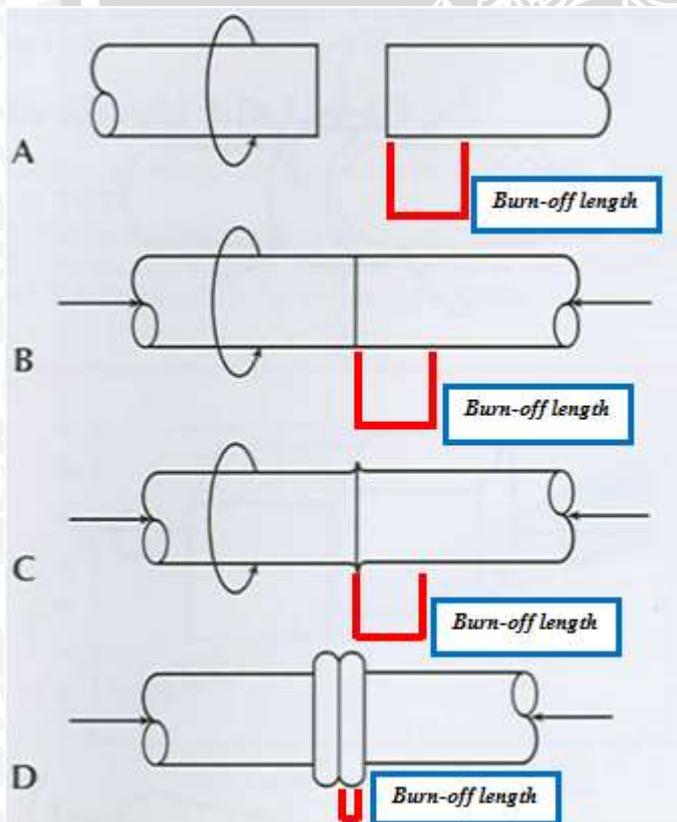
	Dimensions				
	Standard Specimen		Small-size specimens proportional to standard specimen		
Nominal Diameter	in (mm)	in (mm)	in (mm)	in (mm)	in (mm)
	0.500 (13)	0.350 (9)	0.250 (6)	0.160 (4)	0.113 (3)
G. gage length	2.000 ± 0.005 (50 ± 0.127)	1.400 ± 0.005 (35 ± 0.127)	1.000 ± 0.005 (25 ± 0.127)	0.640 ± 0.005 (16 ± 0.127)	0.450 ± 0.005 (12 ± 0.127)
D. diameter	0.500 ± 0.010 (13 ± 0.25)	0.350 ± 0.007 (9 ± 0.18)	0.250 ± 0.005 (6 ± 0.127)	0.160 ± 0.003 (4 ± 0.08)	0.113 ± 0.002 (3 ± 0.05)
R. radius of fillet, min.	3/8 (10)	1/4 (6)	3/16 (5)	5/32 (4)	3/32 (2.4)
A. length of reduced section, min.	2-1/4 (60)	1-3/4 (44)	1-1/4 (32)	3/4 (20)	5/8 (15)

Gambar 2.7 Spesimen Uji Tarik

Sumber : AWS B4 (2007 : 6)

2.7 *Burn-off length* dan geometri kerucut satu sisi

Burn-off length merupakan salah satu parameter pada *friction welding*. *Burn-off length* yaitu panjang spesimen yang berkurang akibat gesekan antara dua spesimen, dimana salah satu spesimen diberi gaya tekan sehingga akan menimbulkan panas pada dua spesimen tersebut dan terjadinya deformasi pada spesimen saat proses pengelasan. Sedangkan total pemendekan adalah total panjang spesimen yang berkurang akibat gesekan dan gaya tekan pada waktu pengelasan antara dua spesimen.



Gambar 2.8 *Burn-off length*

$$Tp = Lo - L \dots\dots\dots(2-4)$$

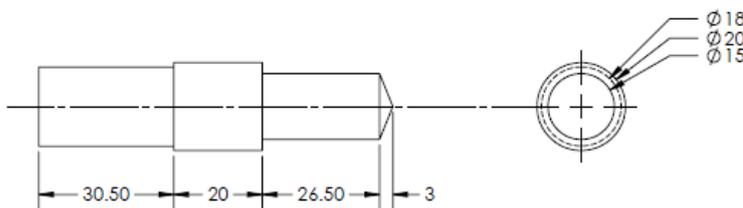
Dengan :

Tp = Total pemendekan (mm)

Lo = 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.



Gambar 2.9 Geometri kerucut satu sisi dengan tinggi 3 mm

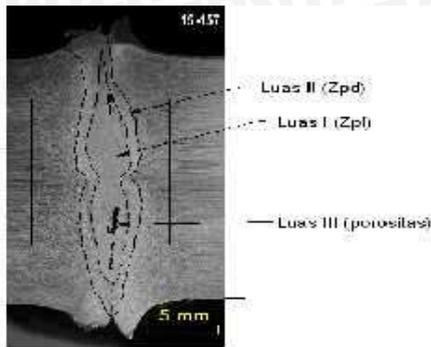
2.8 Daerah *Heat Affected Zone* (HAZ)

HAZ merupakan daerah yang terpengaruh panas saat proses pengelasan. Akibatnya, struktur mikro dan sifat-sifat mekanis dari spesimen yang dilas berubah dari keadaan semula. Semakin besar panas yang dihasilkan maka daerah *HAZ* yang terbentuk juga semakin besar. Ini akan menyebabkan kekuatan dari sambungan las tersebut akan semakin menurun.

Pada pengelasan gesek, beberapa bagian penting dibagi menjadi 3 yaitu :

1. *Fully plasticized region* (Zpl) adalah daerah sambungan yang mengalami deformasi plastis secara keseluruhan dan menyatu saat pengelasan.
2. *Partly deformed region* (Zpd) merupakan daerah yang mengalami panas serta deformasi sebagian yang diakibatkan proses pengelasan.
3. Porositas adalah daerah pada hasil ambungan las yang berupa rongga udara, sehingga akan mempengaruhi kekuatan sambungan las

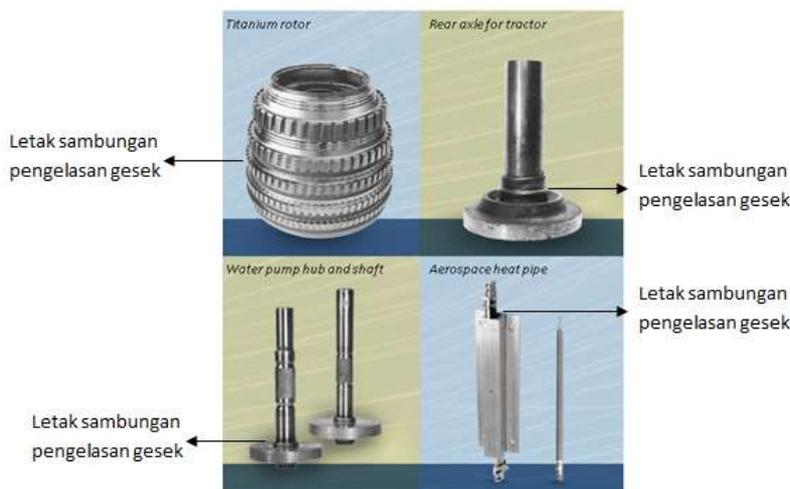
Untuk mengetahui daerah Zpl , Zpd dan porositas maka dapat dilihat melalui foto makrostruktur dari spesimen. Daerah Zpl , Zpd dan porositas ditunjukkan pada gambar 2.10



Gambar 2.10 Zpl (i), Zpd (ii), Porositas (iii)
 Sumber : Santoso (2012)

2.9 Aplikasi Pengelasan Gesek

Hasil pengelasan gesek dapat diterapkan diberbagai macam bidang permesinan seperti industri pertanian, otomotif maupun militer. Pengelasan gesek tersebut dapat diterapkan pada bagian sambungan yang berbentuk silinder pejal maupun silinder berbentuk pipa. Beberapa contoh aplikasi las gesek ditunjukkan pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Aplikasi Las Gesek dari Paduan Al – Mg – Si
 Sumber : mtiwelding (2016)

2.10 Hipotesa

Berdasarkan dasar teori serta penelitian-penelitian yang dilakukan sebelumnya maka hipotesa yang kita peroleh bahwa semakin besar *burn-off Length* maka waktu gesekan logam semakin lama dan menyebabkan *heat input* yang timbul semakin tinggi dan akan menimbulkan logam menjadi lunak sehingga kekuatan tariknya menjadi semakin rendah, semakin kecil tinggi kerucut maka bidang kontak gesekan atau *interface* kecil dan suhu waktu bergesek juga kecil dan menyebabkan *heat input* nya rendah sehingga mengakibatkan kekuatan tariknya semakin besar.