

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Maalekian (2007) dalam penelitiannya yang berjudul “*Critical Assessment of Literature*” mendapatkan hasil, bahwa dalam pengelasan gesek berbagai macam tipe material dalam penggunaannya karena dapat diaplikasikan dan menghasilkan produk yang berkualitas tinggi dalam pengelasan. Banyak faktor yang berkaitan dalam pengelasan gesek diantaranya adalah perlakuan gesekannya, temperatur dan energi panas yang terkandung di dalamnya.

Sahin, dkk (2010), dalam penelitiannya “*Modelling of Friction Welding*”. Pada penelitiannya yang dilakukannya menggunakan metode pengelasan *continuous friction welding*. Mendapatkan hasil bahwa ukuran diameter spesimen memiliki pengaruh terhadap laju aliran panas yang terjadi. Dimana laju aliran panas yang terjadi pada spesimen dengan diameter lebih kecil lebih tinggi dibandingkan laju aliran panas yang terjadi pada spesimen dengan diameter lebih besar.

Sementara itu, Iswar dkk (2012) juga 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 bahwa semakin tinggi putaran maka kekuatan tarik dan kekuatan puntir yang dihasilkan akan semakin besar. Kekuatan tarik tertinggi pada putaran 1800 rpm yakni sebesar 403.80 N/mm².

Santoso, dkk (2012), dalam penelitiannya yang berjudul “Pengaruh sudut *chamfer* dan gaya tekan akhir terhadap kekuatan tarik sambungan las gesek pada paduan aluminium Al-Mg-Si”. Dapat disimpulkan bahwa hasil kekuatan tarik akan meningkat seiring dengan semakin kecilnya sudut *chamfer* dan semakin besar gaya tekan akhir. Kekuatan tarik tertinggi terdapat pada sudut 15⁰ dan gaya tekan akhir 213 Kgf dengan nilai kekuatan tarik sebesar 140,45 Mpa

Irawan, dkk (2012), dalam penelitiannya “*Tensile strength of weld joint produced by spinning friction welding of round alumunium A6061 with various chamfer angles*. Dari hasil penelitiannya didapatkan bahwa kekuatan tarik alumunium paduan Al-Mg-Si dengan variasi sudut 15⁰, 30⁰, 45⁰, 60⁰, dan 75⁰ dengan gaya penekanan 2 menit didapat nilai kekuatan tarik sebesar pada sudut 30⁰ dan hasil mikrostruktur kekuatan tertinggi pada

spesimen ini disebabkan oleh luas maksimum zona plastis, porositas minimum dan luas minimum zona yang terkena dampak panas.

2.2 Pengertian Aluminium

Aluminium merupakan logam ringan yang mempunyai kekuatan tinggi, tahan terhadap korosi, dan merupakan konduktor listrik yang baik. Selain itu, aluminium juga mempunyai sifat mampu bentuk (*wrought alloy*) dimana paduan aluminium ini dapat dikerjakan atau diproses baik dalam pengerjaan dingin maupun pengerjaan panas dengan peleburan. Karena sifat-sifat inilah maka banyak dilakukan penelitian untuk meningkatkan kekuatan mekaniknya, diantaranya dengan menambahkan unsur-unsur seperti : Cu, Mg Si, Mn, Zn, Ni, dan sebagainya, baik dicampur secara satu persatu maupun secara bersamaan, bahan-bahan tersebut juga memberikan sifat-sifat baik lainnya seperti ketahanan korosi, ketahanan aus, koefisien pemuaian rendah. Material ini dipergunakan dalam bidang yang sangat luas, bukan saja untuk peralatan rumah tangga tetapi juga dipakai untuk keperluan material pesawat terbang, mobil, kapal laut, konstruksi dan sebagainya.

Unsur logam yang paling banyak terkandung di bumi adalah aluminium. Aluminium juga merupakan logam yang paling banyak digunakan setelah baja Karakteristik utamanya adalah ringan (berat jenis = $2,7 \text{ gr/cm}^3$) dibandingkan dengan baja (berat jenis = $7,8 \text{ gr/cm}^3$), serta memiliki keuletan yang cukup tinggi. Dengan sifat-sifat seperti itu maka aluminium banyak digunakan secara luas di perusahaan-perusahaan ataupun yang lainnya.

2.2.1 Sifat - Sifat Aluminium

Aluminium memiliki beberapa sifat yaitu :

a. Hantar listrik yang baik

Aluminium adalah logam yang paling umum dipakai sebagai alat penghantar listrik sebab mempunyai daya hantar kurang lebih 65 % dari daya hantar tembaga. Disamping itu aluminium lebih liat atau lentur sehingga lebih mudah diulur menjadi kawat.

b. Konduktivitas panas yang baik

Aluminium adalah salah satu bahan yang mempunyai konduktivitas panas yang baik. Hal ini dapat diamati melalui kecepatan alir panas dari daerah temperatur tinggi ke temperatur rendah, sehingga aluminium menjadi relatif yang tepat untuk peralatan pemindah panas.

c. Tahan karat

Aluminium termasuk logam yang tahan korosi, diakibatkan apabila proses korosi pada aluminium mulai terjadi pada permukaan aluminium tersebut akan muncul

lapisan alumunium oksida, yang akan menghindarkan permukaan alumunium kontak dengan oksigen yang terdapat di udara bebas, sehingga proses korosi akan terhenti.

d. Ringan

Alumunium merupakan logam yang sangat ringan, massa jenisnya sekitar 2720 kg/m³. Oleh karena itu alumunium banyak menggantikan baja dalam berbagai hal seperti pada mobil, kapal, pesawat, alat rumah tangga dan lainnya.

e. Kekerasan

Kekerasan dari alumunium murni adalah relatif rendah yaitu kandungan 99,99% alumunium adalah 17 BHN. Selain itu kekerasan dapat pula ditingkatkan dengan proses perlakuan panas.

f. Titik cair

Titik cair alumunium untuk kandungan 99,99% relatif rendah yaitu sekitar 660°C sifat ini menguntungkan terutama dalam proses pengecoran dalam paduan alumunium.

2.2.2 Klasifikasi Paduan Aluminium

Secara umum paduan aluminium dapat diklasifikasikan menjadi tiga yakni berdasarkan pembuatannya dengan klasifikasi paduan cor dan paduan tempa, berdasarkan perlakuannya dengan dapat dan tidak dapat diperlaku-panaskan, dan berdasarkan unsur-unsur paduan. Dari ketiga ini kita dapat membagi aluminium menjadi 7 macam jenis yaitu : (Wiryosumarto, 2000:114)

1. Jenis Al-Murni teknik (seri 1000)

Aluminium murni ini memiliki kadar 90%-99,9%. Aluminium ini memiliki sifat yang tahan korosi, daya hantar panas yang bagus, daya hantar listrik yang bagus. Kekurangan dari aluminium paduan ini adalah kekuatan aluminium yang rendah.

2. Jenis paduan Al-Cu (seri 2000)

Paduan jenis aluminium ini merupakan hasil perlakuan panas. Dengan melakukan perlakuan panas sifat mekanik dari paduan aluminium ini dapat menyamai karakteristik dari baja lunak, tetapi tahan korosinya rendah dibanding dengan paduan aluminium yang lainnya. Sifat mampu lasnya juga kurang baik, Biasanya aluminium ini digunakan untuk konstruksi paku keling.

3. Jenis paduan Al-Mn (seri 3000)

Paduan jenis Al-Mn ini hampir mirip dengan Al-murni dalam hal mampu potong, ketahanan terhadap korosi, dan mampu lasnya. Namun paduan ini tidak dapat dilakukan perlakuan panas untuk meningkatkan nilai kekerasannya.

4. Jenis paduan Al-Si (seri 4000)

Paduan Al-Si termasuk jenis yang tidak dapat diperlakukan. Jenis ini dalam keadaan cair mempunyai sifat mampu alir yang baik dan dalam proses pembekuannya hampir tidak terjadi retak

5. Jenis paduan Al-Mg (seri 5000)

Paduan Al-Si termasuk jenis yang tidak dapat diperlakukan seperti paduan Al-Cu tetapi paduan ini mempunyai daya tahan terhadap korosi sangat baik terutama terhadap air laut.

6. Jenis paduan Al-Mg-Si (seri 6000)

Paduan Al-Mg-Si ini merupakan paduan yang bisa diperlakukan untuk menambah kekuatan dari aluminium ini. Aluminium ini mempunyai sifat mampu potong, mampu las dan daya tahan terhadap korosi yang cukup. Kekurangan dari paduan ini adalah daerah di sekitar pengelasan akan mengalami pelunakan akibat pengelasan ini.

7. Jenis paduan Al-Zn (seri 7000)

Paduan ini merupakan jenis paduan yang bisa diperlakukan. Kekuatan tarik yang didapat mencapai lebih dari 50 kg/mm², Sehingga paduan ini dinamakan juga ultra duralumin. Sifat mampu las dan daya tahan terhadap korosi dari paduan ini kurang baik.

2.2.3 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 : (Wiryosumarto, 2000 : 115)

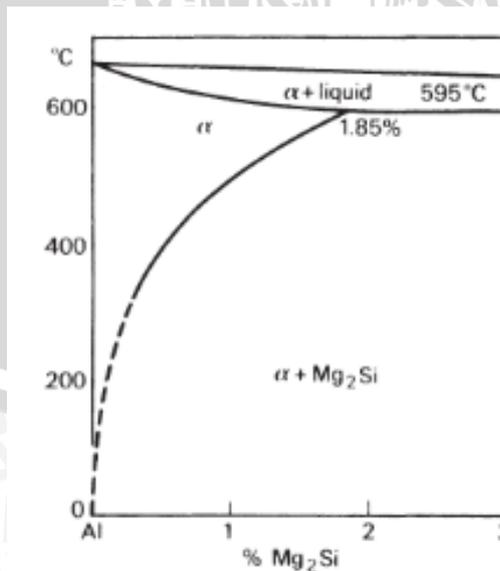
1. Mudah teroksidasi dan membentuk oksida aluminium Al₂O₃ yang mempunyai titik cair yang tinggi. Karena sifat ini maka peleburan antara logam dasar dan logam las menjadi terhalang.
2. Koefisien muai yang besar, maka mudah sekali terjadi deformasi sehingga paduan – paduan yang mempunyai sifat getas panas akan cenderung membentuk retak – panas.
3. Perbedaan yang tinggi antara kelarutan *hydrogen* dalam logam cair dan logam padat, maka dalam proses pembekuan yang terlalu cepat akan membentuk rongga halus bekas kantong – kantong *hydrogen*.

4. Paduan aluminium mempunyai berat jenis rendah, karena itu banyak zat – zat lain yang terbentuk selama pengelasan akan tenggelam. Keadaan ini memudahkan terangkutnya zat – zat yang tidak dikehendaki ke dalamnya.
5. Karena titik cair dan viskositasnya rendah, maka daerah yang kena pemanasan mudah mencair dan jatuh menetes.

2.2.4 Paduan Al – Mg – Si

Paduan Aluminium – Magnesium – Silicon merupakan paduan yang dapat diperlakukan dan mempunyai sifat mampu - potong, mampu las, dan daya tahan korosi yang cukup. Jika magnesium dan silikon dipadukan bersama aluminium maka akan terbentuk aluminium silikat (Mg_2Si), kebanyakan aluminium mengandung Si, sehingga diperlukan penambahan Mg untuk memperoleh efek penguatan dari Mg_2Si . Tetapi sifat paduan ini akan menjadi getas sehingga untuk mengurangi hal tersebut diperlukan penambahan antara 0,03% - 0,1 %.

Produk yang biasa menggunakan bahan aluminium paduan Al – Mg – Si adalah pipa, tabung, silinder linier, ring piston, bantalan dan perlengkapan pompa. Gambar 2.1 menunjukkan diagram fase magnesium-silikon pada paduan aluminium. Pada gambar 2.1 terlihat bahwa kelarutan Mg_2Si semakin menurun terhadap kelarutan aluminium yakni dari temperatur tinggi ke temperatur yang rendah. Kelarutan Mg_2Si dalam aluminium fasa α terjadi sampai 1,85% pada temperatur 595°C. Selain itu, titik cair terendah untuk mencairkan Al – Mg – Si pada temperatur 595°C.



Gambar 2.1 Diagram Fase magnesium-silikon pada paduan aluminium
Sumber: Polmear (1995 : 63)

Alumunium paduan Al-Mg-Si memiliki berat jenis $2,7 \text{ gr/cm}^3$. Tabel 2.1 di bawah ini adalah komposisi kimia berdasarkan berat aluminum 6061 :

Tabel 2.1 Persentase komposisi kimia berdasarkan berat aluminum 6061

No Code	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
6061	0,4-0,8	0,7	0,15-0,4	0,15	0,8-1,2	0,04-0,35	0,25	0,15

Sumber: Kissel (2002 : 330)

Dalam aplikasinya paduan Al – Mg – Si banyak digunakan untuk bahan komponen mobil. Pada tabel 2.1 ini adalah hasil dari uji komposisi kimia dan sifat mekanik dari paduan Al – Mg – Si. Pengujian komposisi ini terletak di daerah Mojokerto kawasan *Ngoro Industrial Park* (NIP) pada PT.H.P.Metals Indonesia. Dapat dilihat pada lampiran 7.

Tabel 2.2 Komposisi Kimia Al – Mg - Si

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Na
0,529	0,344	0,229	0,125	0,795	0,0490	0,0372	0,0249	0,00032
%	%	%	%	%	%	%	%	%
Ca	Ni	Pb	P	Sn	Sb	Sr	Be	
0,00016	0,0103	0,0022	<0,00050	0,0013	<0,00040	<0,00010	0,00006	
%	%	%	%	%	%	%	%	
Zr	Bi	Cd	Al					
0,00067	<0,00030	0,00063	97,8					
%	%	%	%					

Sumber: PT.H.P.Metals Indonesia (2015)

2.3 Pengertian dan Klasifikasi Pengelasan

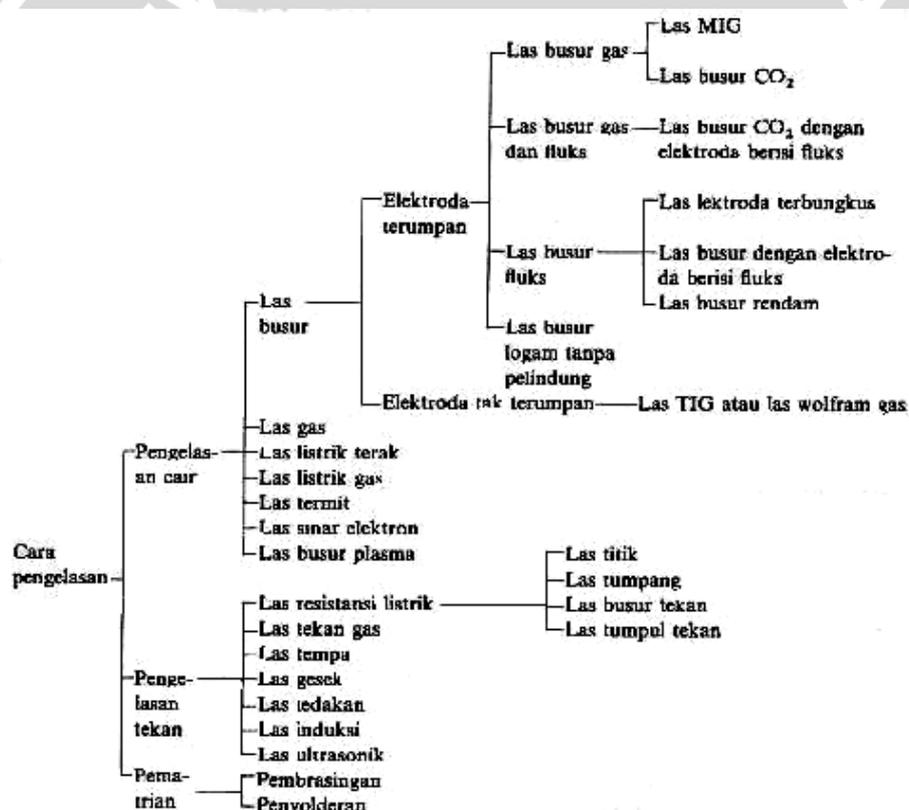
Pengelasan merupakan salah satu proses penyambungan logam dimana logam menjadi satu akibat panas dengan atau tanpa pengaruh tekanan. Menurut definisi dari *Deutche Industrie Normen* (DIN) las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dari definisi tersebut dapat disimpulkan bahwa dalam pengelasan dibutuhkan energi panas untuk melumerkan atau mencairkan logam yang akan dilas. Apabila permukaan dua logam ditekan atau dipanaskan, maka kedua permukaan logam tersebut akan melebur sehingga terjadi sambungan las.

Secara umum pengklasifikasian las dapat dibagi menjadi dua, yaitu klasifikasi las berdasarkan cara kerja dan klasifikasi las berdasarkan energi yang digunakan. Diantara kedua klasifikasi tersebut yang paling sering digunakan adalah pengklasifikasian las

berdasarkan cara kerja. Berdasarkan cara kerja pengelasan dapat diklasifikasikan menjadi tiga yaitu : (Toshie Okumura, 2000)

1. Pengelasan cair adalah pengelasan dimana sambungan yang akan dilas akan mencair sehingga dapat menyatu
2. Pengelasan Tekan adalah pengelasan dimana sambungan dipanaskan lalu ditekan tanpa harus mencair hingga menyatu.
3. Pematrian adalah cara dimana sambungan diikat dan disatukan dengan menggunakan paduan logam yang mempunyai titik cair rendah. dalam proses ini logam yang akan disambung tidak ikut mencair.

Pada gambar 2.2 terlihat bahwa ada beberapa cara pengelasan yang umumnya terbagi menjadi 3 yaitu pengelasan cair, pengelasan tekan dan pematrian. Untuk lebih jelasnya dari pengklasifikasian ini dapat dilihat pada gambar 2.2 dibawah ini :



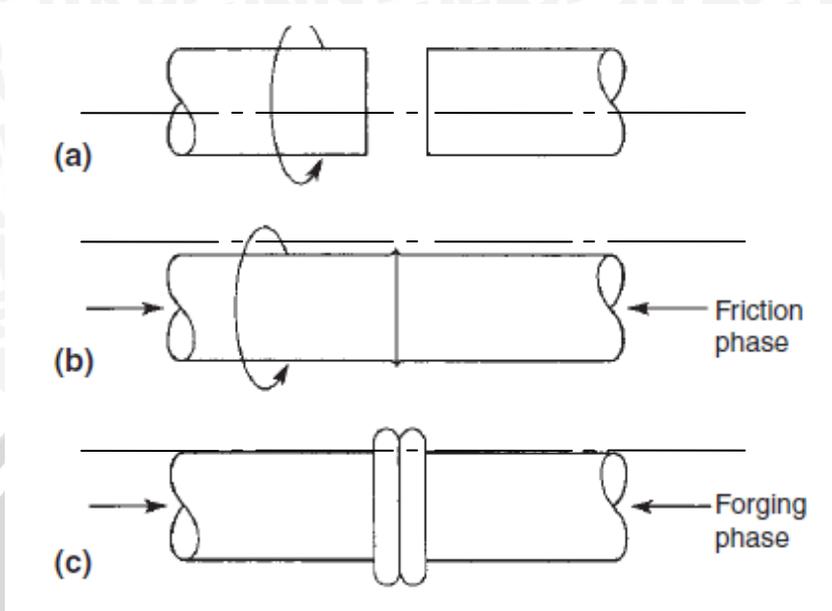
Gambar 2.2 Klasifikasi Cara pengelasan

Sumber: Wiryosumarto (2000 : 8)

2.4 Pengelasan Gesek (*Friction Welding*)

Friction welding adalah salah satu metode dalam pengelasan tekan. Las (*welding*) adalah suatu cara untuk menyambung benda padat dengan jalan mencairkannya melalui pemanasan (Sriwidharto, 1996:1). Pada gambar 2.3 di bawah ini terlihat tahap-tahap

pengelasan gesek yaitu ada dua spesimen yang bekerja pada pengelasan gesek. Benda kerja yang sisi kiri berputar dan sisi kanan diam serta diberi gaya penekanan. Pada skema (c) dua benda kerja tersebut sudah menyatu dan menjadi *flash*.



Gambar 2.3 Skema tahap-tahap dari proses *friction welding*
Sumber: Lienert (2011:179)

Las gesek juga merupakan salah satu metode pengelasan tekan dimana sumber panas yang dihasilkan berasal dari gesekan benda itu sendiri. Dalam metode ini dua buah benda dapat menyatu karena adanya panas yang timbul akibat dari gesekan dua benda tersebut. prinsip dasar dari pengelasan sendiri adalah dengan cara memanaskan logam yang akan dilas supaya logam dapat meleleh dan bisa saling menempel. Salah satu cara untuk mendapatkan panas tersebut adalah dengan cara menggesekkan logam itu sendiri dengan logam lainnya. Berdasarkan cara penggesekannya *friction welding* dibagi menjadi dua yaitu :

1. *Linier Friction Welding*

Linear friction welding adalah metode pengelasan gesek yang sumber panasnya berasal dari gesekan kedua permukaan benda itu sendiri. Mekanisme pengelasan ini, dimana salah satu logam berputar relative terhadap logam satunya dengan kecepatan tertentu dimana logam satunya tidak ikut berputar tetapi memberikan tekanan terhadap logam yang berputar. Adanya gesekan pada ujung permukaan logam tersebut maka timbul panas pada kedua ujungnya, sehingga melelehkan kedua permukaan yang bersentuhan hingga akhirnya kedua logam tersebut menjadi satu. Selanjutnya dilakukan penekanan akhir untuk lebih menyatukan sambungan tersebut. Las gesek

dengan sumber panas berasal dari gesekan kedua permukaan benda kerja itu sendiri, contohnya *continous drive friction welding*.

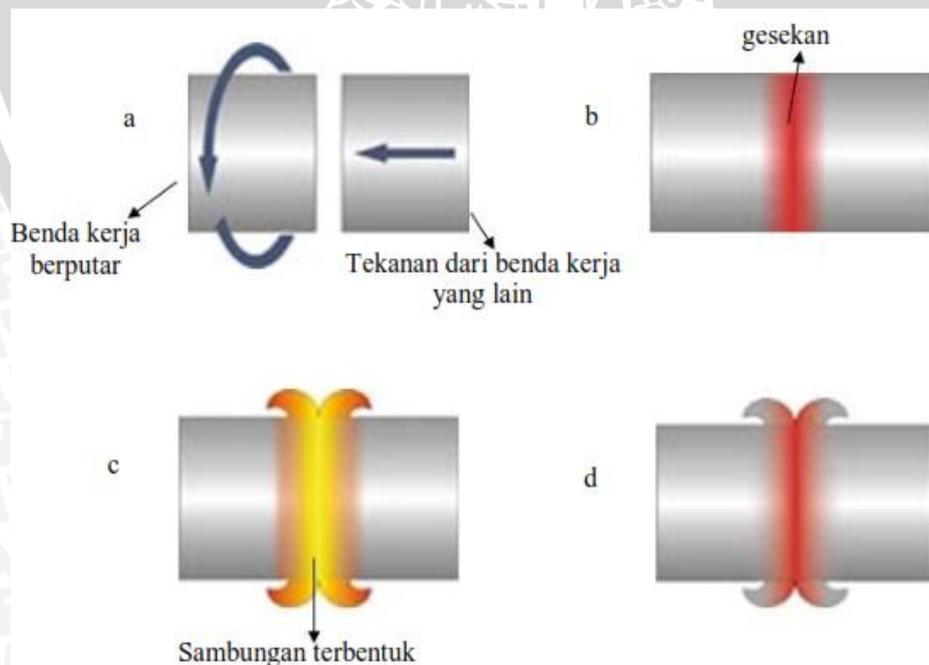
2. *Friction Stir Welding*

Las gesek dengan sumber panas berasal dari gesekan antara benda kerja dan pahat (*tools*), contohnya *friction stir welding*. Umumnya proses ini digunakan untuk penyambungan pelat.

2.4.1 *Continous Drive Friction Welding*

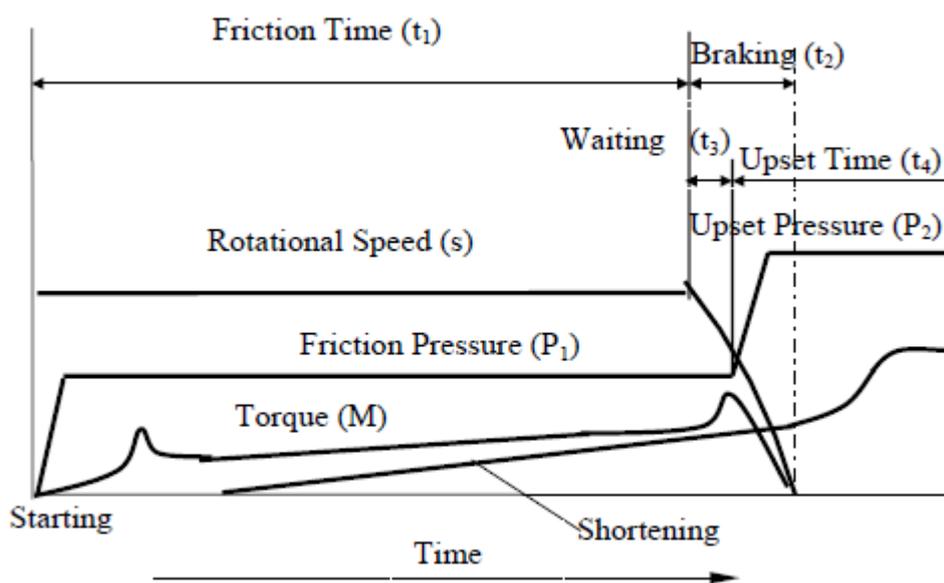
Las gesek merupakan pengelasan yang memanfaatkan panas yang berasal dari gesekan langsung dari benda itu sendiri dimana salah satu benda kerja diputar dan satunya diam dan menekan.

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 proces*. Pada gambar 2.4 dibawah ini terlihat pada skema a. benda kerja berputar dan benda kerja yang lain mengalami tekanan, sehingga terbentuk *flash* yang terlihat pada skema c.



Gambar 2.4 *Continous Drive Friction Welding*
Sumber: Swanson Industries Inc. (2006)

Pada pengelasan las gesek ini terdapat parameter-parameter yang harus diperhatikan ketika proses penyambungan, Terutama parameter waktu dan gaya yang diberikan ketika proses pengelasan. Pada gambar 2.5 dibawah ini terlihat ada beberapa parameter dalam *friction welding* diantaranya *friction time* (t_1), *friction pressure* (P_1), *rotational speed* (s), *torque* (M), *braking* (t_2), *upset time* (t_4) dan *upset pressure* (p_2). Pada awalnya ada dua buah benda kerja, salah satunya berputar dan benda kerja yang lain diam dan menekan, ketika mengalami penekanan awal sampai berhenti hal tersebut dinamakan *friction time* (t_1). Pada tahap *braking* (t_2) diberi tekanan akhir yang dinamakan *upset pressure* (P_2). Waktu yang diperlukan untuk tahap tekanan akhir tersebut dinamakan *upset time* (t_2).



Gambar 2.5 Parameter *friction welding*
Sumber: Sahin (2008)

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. Dapat dilakukan pada logam yang berbeda jenis.
2. Tidak menghasilkan asap dan geram.
3. Meminimalisir energi yang dibutuhkan ketika proses pengelasan.
4. Daerah HAZ yang dihasilkan dalam pengelasan ini sangat sempit.
5. Pengelasan pada temperatur rendah dapat mempertahankan mikrostruktur dan sifat material

6. Kekuatan yang dihasilkan pada sambungan *friction welding* hampir sama dengan kekuatan logam induk.

2.5 Pengujian Tarik

Pengujian tarik merupakan cara umum untuk mengetahui sifat mekanik dari material ketika mendapatkan tegangan tarik. Pengujian tarik dimaksudkan untuk menentukan unit *tensile strength* dan *ductility* dari suatu material. 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. Pembebanan tarik adalah pembebanan yang diberikan kepada benda uji dengan memberikan gaya tarik berlawanan arah pada salah satu ujungnya. Dalam pengujian ini yaitu menguji spesimen yang dijepit kedua ujungnya kemudian diberikan pembebanan tarik yang makin lama makin besar oleh kekuatan mekanik ataupun hidrolis hingga spesimen patah. Perubahan panjang pada specimen yang disebabkan karena pembebanan tarik dan besarnya kekuatan tarik dapat diukur oleh sebuah alat ukur.

Tarikan adalah pemberian gaya atau beban terhadap suatu material atau specimen dengan gaya sejajar (berbeda arah). Kekuatan tarik merupakan kemampuan bahan untuk menerima beban tarik tanpa mengalami kerusakan dan dinyatakan sebagai tegangan maksimal sebelum putus di anggap data terpenting yang diperoleh dari hasil pengujian tarik, karena biasanya perhitungan-perhitungan kekuatan dihitung atas dasar kekuatan tarik ini. Kekuatan tarik pada baja akan naik seiring dengan naiknya kadar karbon dari paduan. (Material Testing Book Universitas Brawijaya, 2014)

Secara skematik tegangan tarik pada material dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\sigma_{max} = \frac{F_{max}}{A} (N/m^2) \quad (2 - 1)$$

dengan :

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

F_{max} = Beban tarik maksimum (N)

A = Luas penampang (m²)

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

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

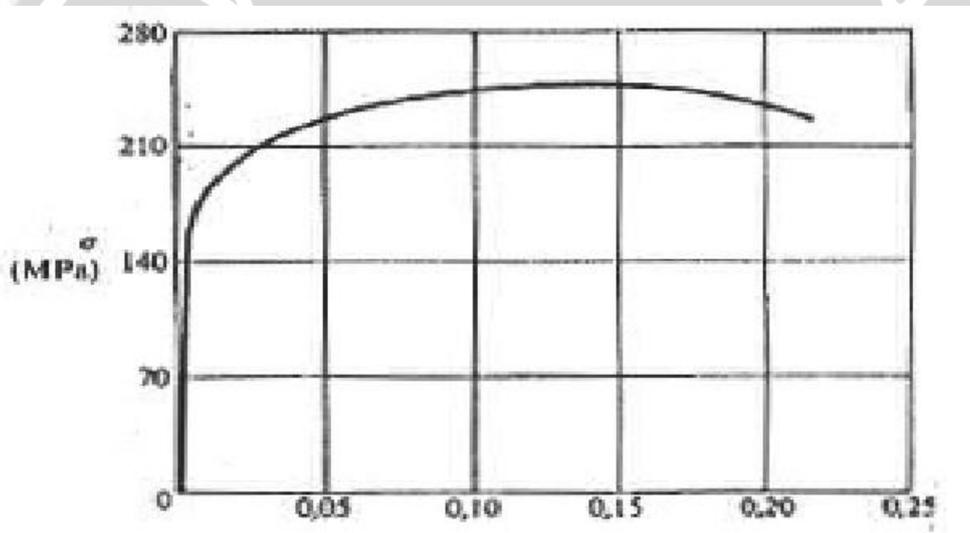
dengan :

ε = Regangan (%)

L_0 = Panjang batang uji mula (m)

L = Panjang batang uji akhir (m)

Pada gambar 2.7 terlihat hubungan diagram tegangan dan regangan. 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*.



Gambar 2.6 Diagram Tegangan – Regangan Aluminium
Sumber: Tegangan Regangan Bahan (2014:25)

2.6 Energi Pengelasan Pada Proses *Friction Welding*

Pada proses *friction welding* terdapat energi panas yang dihasilkan akibat proses gesekan antara dua permukaan logam aluminium. Hal tersebut diasumsikan bahwa tekanan gesek yang sama menyebar pada bagian-bagian benda yang berputar dan benda yang tidak berputar. Energi panas yang dihasilkan dapat dinyatakan dengan rumus :

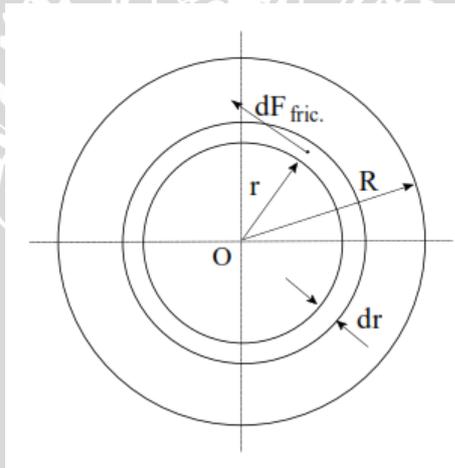
(Sahin, 2010)

$$d\dot{Q} = \omega \cdot dM_t \quad (2-3)$$

dimana ω ialah kecepatan putaran dan dM_t ialah perbedaan nilai momen torsi pada dr. Lalu, nilai torsi dapat dihitung dengan rumus :

$$dM_t = r \cdot dF_{friction} \quad (2 - 4)$$

dimana nilai $dF_{friction}$ adalah gaya gesek pada lingkaran dengan lebar dr dan, r adalah jari-jari lingkaran. Kemudian, hal tersebut dapat dijelaskan bahwa gaya gesek $dF_{friction}$ setara dengan koefisien gesek dikalikan dengan gaya aksial pada tekanan P pada lingkaran dengan jari-jari dr. Pada gambar 2.8 dibawah ini terlihat skema dari persamaan tersebut. Dimana R merupakan jarak dari titik pusat sampai jari-jari terluar sedangkan r merupakan jarak dari titik pusat sampai jari-jari bagian dalam. Perbedaan jari-jari terluar dan jari-jari bagian dalam dinamakan dr. Sedangkan $dF_{friction}$ adalah energi yang terjadi pada pengelasan gesek tersebut.



Gambar 2.7 : Friction Surface
Sumber: Sahin (2010)

$$dF_{friction} = r (\mu \cdot P \cdot 2\pi r \cdot dr) \quad (2 - 5)$$

Dengan menggabungkan persamaan (2 - 4) dan persamaan (2 - 5) pada persamaan (2 - 3) maka didapatkan :

$$d\dot{Q} = 2\pi \cdot \mu \cdot \omega \cdot P \cdot r^2 \cdot dr \text{ (W)} \quad (2 - 6)$$

Rumus (2 - 6) tersebut kemudian di integralkan dengan nilai R pada (spesimen pejal) untuk menjelaskan jumlah kalor yang terjadi selama proses gesekan.

$$\int_0^R d\dot{Q} = 2\pi \cdot \mu \cdot P \cdot r^2 \cdot \omega \cdot dr. \quad (2-7)$$

$$\dot{Q} = 2 \cdot \pi \cdot \mu \cdot P \cdot \omega \cdot \frac{r^3}{3} \Big|_0^R \quad (2-8)$$

$$\dot{Q} = \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot \mu \cdot P \cdot \omega \cdot R^3 \quad (W) \quad (2-9)$$

dengan :

\dot{Q} : Jumlah energi mekanik per satuan waktu yang terjadi pada permukaan las gesek (Watt)

P : *Friction pressure* (N/m²)

ω : Kecepatan sudut (rad/s)

R : Radius benda kerja (m)

M_t : Momen Torsi (N.m)

μ_s : Koefisien gesek aluminium

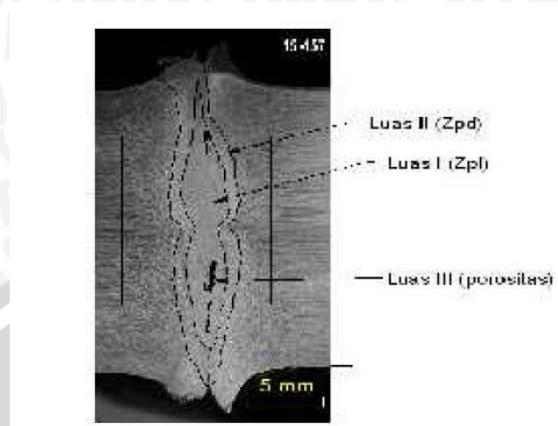
2.7 Heat Affcted Zone (HAZ)

HAZ adalah daerah yang terpengaruh panas ketika proses pengelasan. Akibat dari adanya panas ini struktur mikro dan sifat-sifat mekanisnya berubah dari keadaan semula. Semakin besar panas yang dihasilkan maka daerah HAZ yang terbentuk semakin besar. Hal ini menyebabkan kekuatan dari sambungan las yang terbentuk semakin menurun.

Pada pengelasan gesek ada beberapa bagian penting diantaranya adalah :

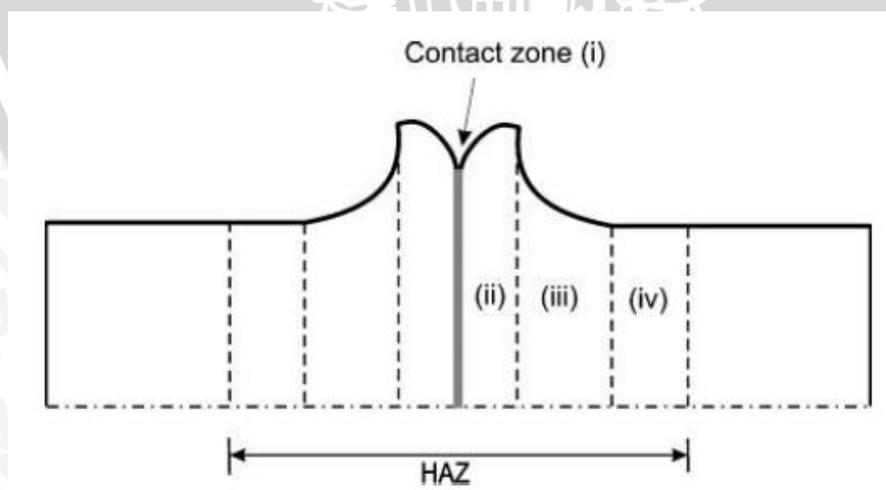
1. *Fully plasticzed region* (Zpl) adalah daerah sambungan las yang mengalami terdeformasi plastis secara keseluruhan dan menyatu saat pengelasan.
2. *Partly deformed region* (Zpd) adalah daerah yang mengalami panas yang terdeformasi sebagian yang diakibatkan pada proses pengelasan.
3. Porositas adalah daerah pada hasil sambungan las yang akan mempengaruhi kekuatan sambungan las.

Pada gambar 2.8 dibawah ini terlihat ada luas I (Zpl) yaitu daerah yang terdeformasi secara keseluruhan, luas II (Zpd) yaitu daerah yang terdeformasi sebagian dan Luas III (Zpr) yaitu porositas yang terjadi pada sambungan las.



Gambar 2.8 Daerah Zpl (I), Zpd(II) dan porositas (III)
Sumber: Santoso (2012)

Menurut Maalekian 2007 ada beberapa daerah dalam proses pengelasan yaitu *contact zone (region i)* daerah ini dimana material yang menyambung pada daerah berbentuk plastis yang terdeformasi. Zona ini sangat kuat strukturnya karena ada pada fase rekristalisasi, Luasan daerah sambungan yang menyatu dengan sempurna *zpl (region ii)*, daerah yang terdeformasi sebagian *zpd (region iii)* dan daerah yang tidak terpengaruh panas sama sekali ketika proses pengelasan *zud (region iv)*. Untuk mengetahui daerah-daerah tersebut maka dapat dilihat dari foto makrostruktur.



Gambar 2.9 region (i),(ii), (iii) dan (iv)
Sumber: Maalekian (2007)

2.8 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan merupakan pengujian untuk mengukur ketahanan material terhadap deformasi plastis yang terlokasi pada suatu titik seperti, indentasi kecil/deformasi kecil dan tergores. Macam-macam metode pada pengujian kekerasan, yaitu *Brinell*, *Vickers*, dan *Rockwell*. Pada metode uji kekerasan tersebut, umumnya menggunakan indenter kecil (berbentuk bola atau piramid) yang ditekan ke permukaan benda dengan mengontrol besar beban dan laju pembebanan. Kemudian indentasi (besar jejak / diagonal jejak) diukur menggunakan mikroskop ukur.

2.9 Hipotesis

Berdasarkan dasar teori serta penelitian-penelitian yang dilakukan sebelumnya maka hipotesis yang kita peroleh bahwa variasi sudut *chamfer* dan waktu pengelasan serta gaya tekan akhir akan mempengaruhi nilai kekuatan tarik dari Al – Mg – Si.

