

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Irawan, dkk (2016), penelitian dilakukan dengan mendapatkan hasil dari variasi sudut *chamfer* 0, 15, 30, dan 45 derajat, variasi kekasaran permukaan 0,697, 0,9, dan 1,067 μm . Menyimpulkan bahwa nilai kekuatan tarik terbesar pada sudut *chamfer* 15^o dan kekasaran permukaan 0,697 μm . Hal itu mungkin terjadi karena porositas yang rendah, area *fully plasticized zone* 1 (Zpl1) memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi dari area *fully plasticized zone* 2 (Zpl2).

Amirullah dkk (2012), melakukan penelitian dengan mendapatkan hasil dari variasi sudut *chamfer* 11,5, 15, 30, dan 45 derajat, variasi waktu pengelasan sebesar 90, 120, 150, dan 180 detik. Spesimen di las dengan *upset force* sebesar 156,8 kgf selama 120 detik. Didapatkan bahwa kekuatan puntir terbesar pada spesimen dengan sudut *chamfer* 11,5^o pada pengelasan selama 90 detik. Disimpulkan bahwa kekuatan puntir akan semakin menurun dengan semakin besarnya daerah HAZ dan daerah HAZ dipengaruhi oleh lamanya waktu pengelasan, semakin lama pengelasan maka daerah HAZ semakin luas.

Irawan dkk (2015), melakukan penelitian dengan mendapatkan hasil dari variasi waktu pengelasan 45, 50 dan 55 detik, variasi *upset force* sebesar 5, 7, dan 10 kN. Spesimen di las dengan kecepatan *spindle* 1600 rpm, gaya saat pengelasan sebesar 2,5 kN, *upset time* selama 110 detik. Didapatkan bahwa kekuatan puntir dipengaruhi oleh *upset force*. Semakin besar *upset force* maka kekuatan puntir juga akan semakin besar, dimana semakin besar *upset force* maka daerah yang mengalami deformasi plastis semakin besar.

2.2 Aluminium

Alumunium adalah logam yang berlimpah keberadaannya, konduktor yang baik, ketahanan korosi yang baik, ringan, kuat, serta konduktor listrik yang baik. Untuk menaikkan sifat mekaniknya, seringkali alumunium biasanya dipadu dengan memberi unsur tambahan, seperti Si, Fe, Cu, Mn, Mg, dan Zn. Penambahan unsur Si dan Mg berguna untuk menambah daya tahan terhadap korosi, Fe untuk mencegah terjadinya penyusutan, Cu untuk menambah kekuatan, dan Mn untuk memperbaiki mampu tempa. Penggunaan alumunium dan paduannya antara lain untuk pesawat terbang, kapal laut, industri otomotif, dll. (surdia, 1999)

Alumunium memiliki keunggulan sifat fisik dan sifat mekanik diantaranya ringan, memiliki konduktifitas yang tinggi ketahanan korosi yang baik, serta memiliki keuletan yang cukup tinggi. Berdasarkan sifat yang dimilikinya, alumunium banyak digunakan dalam berbagai macam bidang. Seperti bahan untuk pembuatan alat - alat rumah tangga dan dipakai juga untuk bahan pembuatan kapal laut, material kelling konstruksi, pesawat terbang, dan mobil.

2.2.1 Penggolongan Aluminium Paduan

Sistem empat digit yang dilengkapi dengan titik desimal digunakan untuk mengidentifikasi aluminium dan paduan aluminium. Standarisasi logam aluminium berdasarkan ASTM (*American Standart Testing Materials*) menggunakan angka untuk menetapkan golongan aluminium paduan. Dibawah ini adalah penggolongan aluminium tempa berdasarkan paduannya:

Tabel 2.1

Paduan Alumunium Tempa

<i>Primary Alloying Element</i>	<i>Series number</i>
<i>Aluminum of 99.00% or higher purity</i>	1xxx
<i>Copper</i>	2xxx
<i>Manganese</i>	3xxx
<i>Siliconn</i>	4xxx
<i>Magnesium</i>	5xxx
<i>Magnesium and silicon</i>	6xxx
<i>Zinc</i>	7xxx
<i>Other element</i>	8xxx
<i>Unused series</i>	9xxx

Sumber : Cayless, ASM Metals Handbook Vol. 2 (1990)

2.2.2 Paduan Al – Mg – Si

Paduan Aluminium – Magnesium – Silikon merupakan paduan yang dapat diperlakukan pemanasan dan mempunyai sifat mampu las, mampu potong, dan daya tahan korosi yang cukup (Wirjosumarto, 2000). Beberapa produk yang menggunakan paduan Al – Mg – Si

antara lain pipa, tabung, komponen pompa dan komponen mobil.berikut merupakan sifat, mekanik dan komposisi kimia paduan Al-Mg-Si.

Tabel 2.2

Sifat Mekanik Khas Paduan Aluminium

Alloy	Temper	<i>Ultimate tensile strength</i>	<i>Tensile yield strength</i>	<i>Elongation in 50 mm, %</i>		<i>Hardness</i>	<i>Modulus of elasticity</i>
		MPa	MPa	1.6 thick specimen	1.3 diam specimen	HB	GPa
6061	0	125	55	25	30	30	69
	T4	240	145	22	25	65	69
	T6	310	275	12	17	95	69

Sumber : Bray, ASM Metals Handbook Vol 2 (1990)

Tabel 2.3

Sifat Fisik Khas Paduan Aluminium

Alloy	<i>Average coefficient of thermal expansion</i>		<i>Approximate melting range</i>		<i>Density</i>		<i>Temper</i>	<i>Thermal conductivity at 25 °C (77 °F)</i>
	$\mu\text{m}/\text{m}^\circ\text{C}$	$\mu\text{in.}/\text{in.}^\circ\text{F}$	$^\circ\text{C}$	$^\circ\text{F}$	g/cm^3	$\text{lb}/\text{in.}^3$		$\text{W}/\text{m}^\circ\text{C}$
6061	23.4	13.1	580-	1080-	2.70	0.098	0	180
			650	1205			T4	154
							T6	167

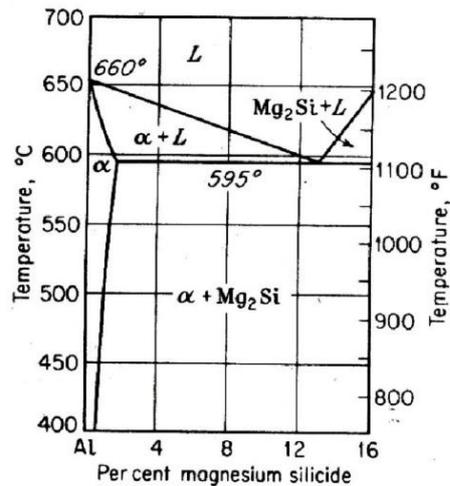
Sumber : Bray, ASM Metals Handbook Vol 2 (1990)

Tabel 2.4

Komposisi Kimia Paduan aluminium Al-Mg-Si Hasil Pengujian Komposisi

Paduan	Kandungan (%)
Aluminium (Al)	96,9
Silikon (Si)	0,369
Besi (Fe)	0,160
Tembaga (Cu)	0,167
Mangan (Mn)	0,020
Magnesium (Mg)	0,0906
Krom (Cr)	1,83
Nikel (Ni)	0,0214
Seng (Zn)	0,342
Timah (Sn)	0,050
Titanium (Ti)	0,0138
Timbal (Pb)	0,030
Berilium (Be)	0,0002
Kalsium (Ca)	0,0033
Stronsium (Sr)	0,0005
Vanadium (V)	0,010
Zirkonium (Zr)	0,003

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



Gambar 2.1 Diagram Fasa Al – Mg – Si

Sumber : Heine (1976:320)

2.2.3 Sifat Mampu Las Aluminium

Dalam pengelasan, logam aluminium mempunyai sifat yang kurang baik bila dibandingkan dengan logam lain. Sifat kurang baik tersebut berpengaruh terhadap hasil lasan. Dibawah ini beberapa sifat pada aluminium jika dilakukan proses pengelasan:

1. Memiliki sifat mudah menghantar panas, sehingga sulit sekali untuk memfokuskan panas pada daerah lasan yang menyebabkan semakin luasnya daerah pengelasan.
2. Mudah teroksidasi dan membentuk oksida aluminium Al_2O_3 . Karena memiliki sifat ini maka dapat menghalangi proses peleburan antara logam induk dan logam pengisi.
3. Memiliki nilai koefisien muai yang tinggi, akibatnya mudah terjadinya deformasi sehingga sambungan cenderung mempunyai sifat getas, dan terbentuknya retakan akibat koefisien muai yang tinggi.
4. Tingginya perbedaan di antara kelarutan *hydrogen* dalam logam padat dan logam cair, akibatnya terbentuk rongga-rongga halus bekas kantong *hydrogen* yang disebabkan terjadinya proses pembekuan yang terlalu cepat.
5. Aluminium memiliki titik cair yang rendah, maka ketika dilakukan pengelasan daerah yang terkena panas akan mudah mencair dan bisa jatuh menetes.

2.3 Pengelasan

2.3.1 Definisi Pengelasan

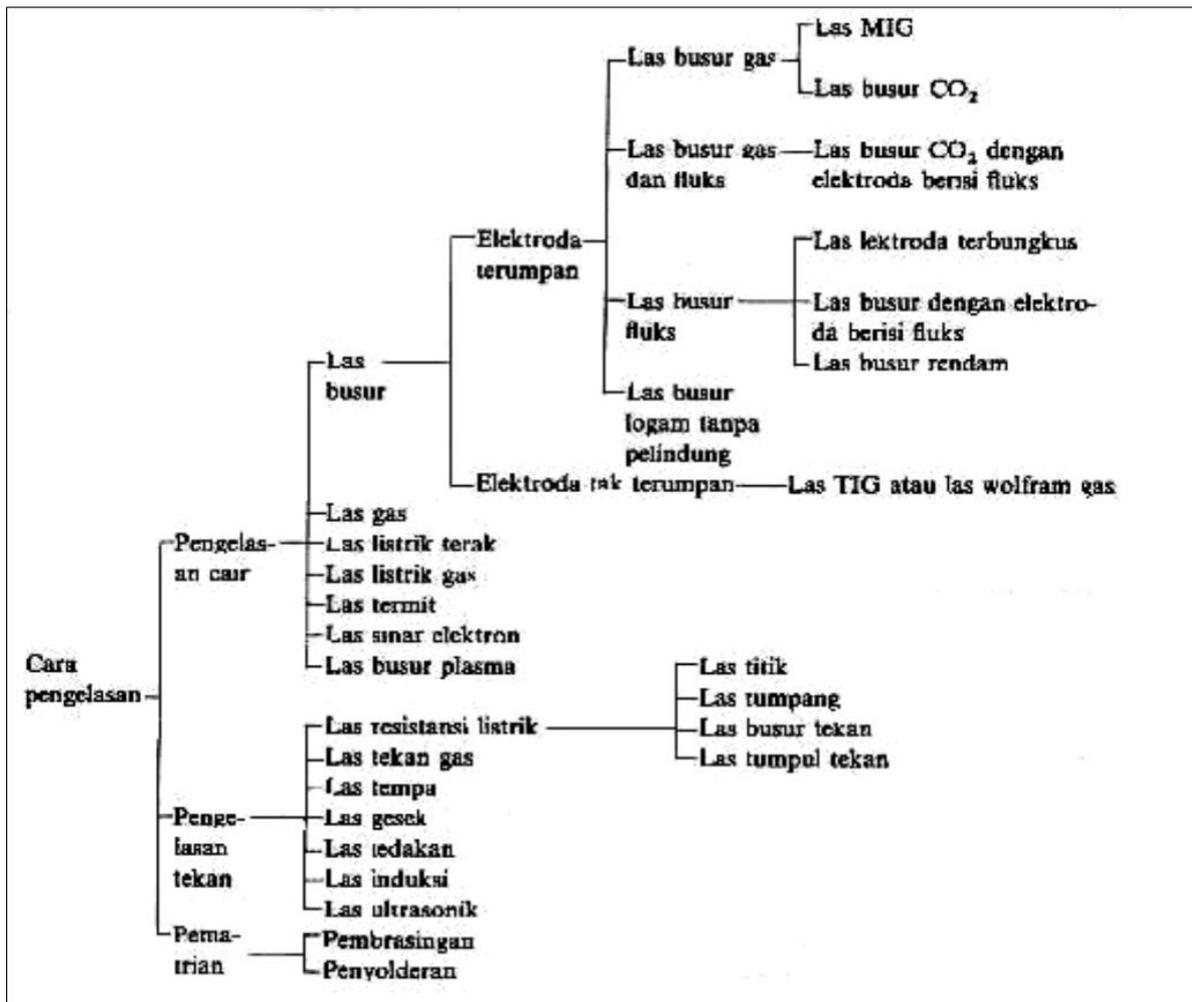
Pengelasan merupakan salah satu cara untuk menyambungkan dua logam. Penyambungan dua logam tersebut dapat dilakukan dengan cara mencairkan permukaan logam induk dan logam pengisi pada daerah las menggunakan panas dari busur listrik atau gas. Selain itu ada juga pengelasan tidak memerlukan logam pengisi dan tidak memerlukan tambahan panas dari luar, akan tetapi panas untuk menyambung daerah las diperoleh dari gesekan permukaan logam itu sendiri. Dari definisi tersebut dapat disimpulkan bahwa dalam pengelasan dibutuhkan energi panas untuk menyambungkan logam yang akan dilas.

2.3.2 Klasifikasi Pengelasan

Pengelasan menurut cara pengelasannya dibedakan menjadi tiga antara lain :

1. Pengelasan cair merupakan proses penyambungan dua buah logam atau lebih dengan mencairkan permukaan logam yang disambung. Sumber panas yang mencairkan logam berasal dari luar misalnya berasal dari busur listrik dan gas.
2. Pengelasan tekan merupakan proses penyambungan logam tanpa harus mencairkan daerah sambungan las. Dimana sambungan ditekan yang mengakibatkan timbulnya panas sehingga logam bisa menyambung menjadi satu.
3. Pematrian merupakan proses penyambungan logam di mana sambungan logam disatukan dengan menambahkan paduan logam yang mempunyai titik cair rendah.

Berdasarkan cara pengelasannya klasifikasi pengelasan dapat dijabarkan pada gambar 2.2 berikut.



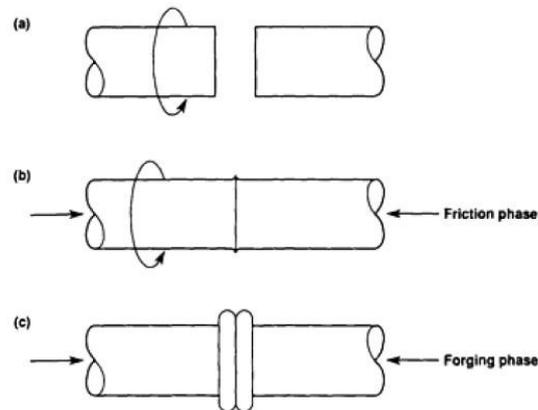
Gambar 2.2 Klasifikasi Cara Pengelasan

Sumber : Wiryosumarto Harsono, 2008 : 8

2.4 Las Gesek (*Friction Welding*)

Friction welding adalah salah satu metode dalam pengelasan tekan. 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 :

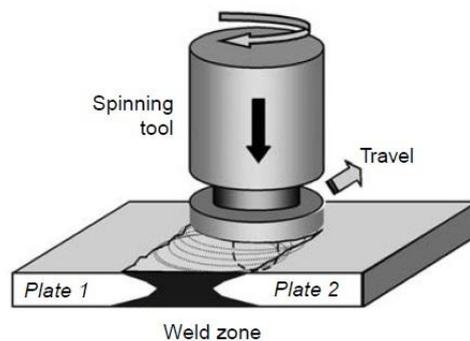
- a. Las gesek yang memperoleh sumber panas dari gesekan kedua permukaan benda kerja itu sendiri, contohnya *continous drive friction welding*.



Gambar 2.3 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 2.4 *Friction stir welding*

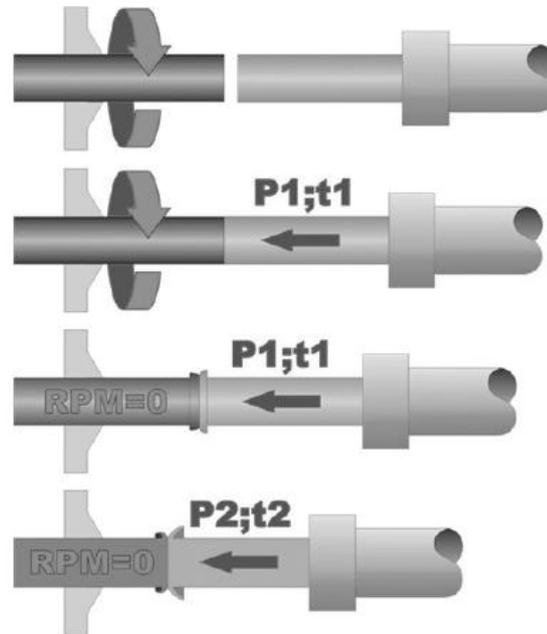
Sumber : Blau (2008:385)

2.4.1 *Continuous Drive Friction Welding*

Continuous Drive Friction Welding 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 penekanan tersebut timbul panas sehingga partikel dari dua logam dapat saling berikatan dan perputaran yang terjadi mengakibatkan partikel dari dua benda tersebut teraduk.

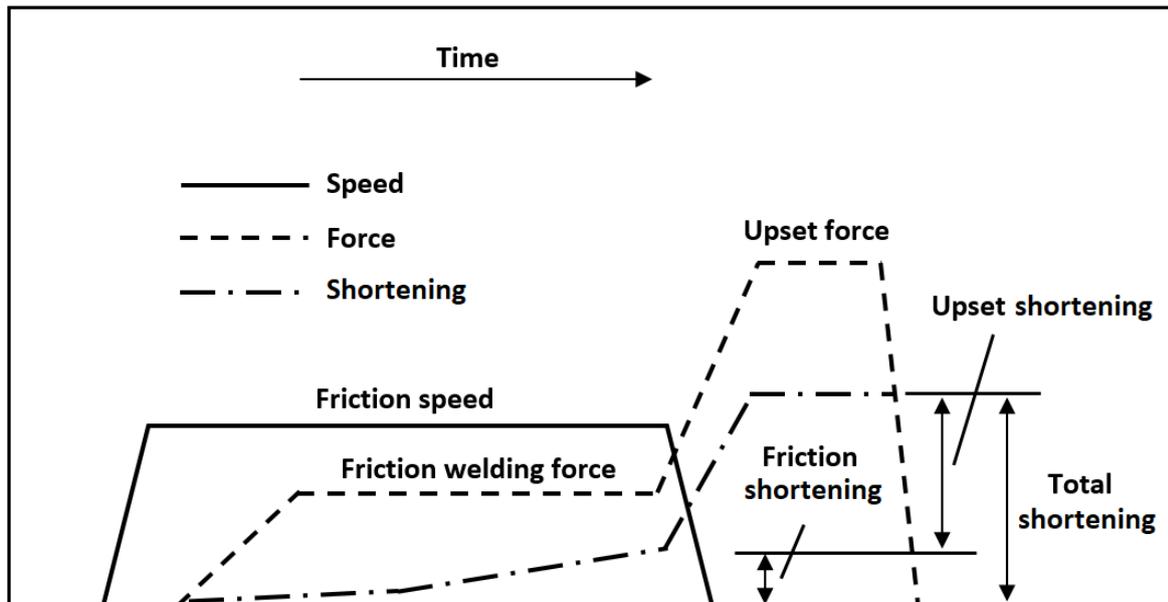
Sedangkan penekanan menyebabkan partikel terdorong mengisi celah - celah kosong sekaligus mengeluarkan udara. Dari proses ini menghasilkan teknik penyambungan logam tanpa proses pencairan atau yang dinamakan *solid state process*.



Gambar 2.5 *Continuous Drive Friction Welding*

Sumber : Alves dkk (2012)

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



Gambar 2.6 Parameter *friction welding*

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

Pada gambar 2.6 menunjukkan parameter - parameter yang mempengaruhi proses pengelasan gesek. Parameter - parameter ini akan mempengaruhi sifat mekanis pada hasil pengelasan gesek. Parameter tersebut diantaranya adalah *friction speed* merupakan kecepatan *spindle* saat spesimen bergesekan yang dibuat stabil saat proses pengelasan berlangsung. *Friction welding force* merupakan gaya penekanan awal yang diberikan saat proses gesekan. Ketika *friction welding force* yang diberikan pada spesimen telah mencapai waktu atau pemendekan yang ditentukan, *friction speed* diturunkan dengan cara menghentikan *spindle* sehingga kedua spesimen berhenti bergesekan, lalu diberikan *upset force*. *Upset force*, yaitu gaya penekanan yang diberikan setelah terjadinya gesekan atau gaya penekanan akhir, besar gaya penekanan akhir tersebut dinaikkan dari besar gaya penekanan awal dan ditahan selama waktu yang ditentukan, *upset force* inilah yang memiliki peran penting untuk menyambung dan memperkuat ikatan metalurgi pada sambungan las gesek (Mesler, *Principles of Welding*, 1999). Dari pemberian gaya pada saat gesekan maupun pada saat akhir pengelasan akan menyebabkan *shortening*, yaitu pemendekan dari spesimen yang disambungkan tersebut. Pemendekan tersebut ada dua macam yaitu pemendekan saat spesimen bergesekan (*friction shortening*) dan pemendekan saat spesimen diberikan *upset force* (*upset shortening*) Pemendekan ini dapat dilihat dengan semakin besarnya *flash* yang timbul pada saat proses pengelasan.

2.4.2 Kelebihan Las Gesek

Ada beberapa hal yang harus menjadi pertimbangan dalam penyambungan logam. Sama halnya ketika ingin melakukan las gesek (*friction welding*) untuk menyambung logam karena ada beberapa kelebihan dari pengelasan ini yaitu :

1. Tidak menghasilkan asap, gas, *flash*, dan berkas sampah.
2. Biaya yang murah dalam pelaksanaannya.
3. Kekuatan yang dihasilkan pada sambungan *Friction welding* hampir sama dengan kekuatan logam induk.
4. Proses pengelasan gesek meminimalisasi energi yang dibutuhkan.
5. Pengelasan pada temperatur yang rendah dapat mempertahankan mikrostruktur dan sifat material.
6. Dapat dilakukan pada logam yang berbeda jenis.

2.5 Energi input

Jumlah energi panas yang dihasilkan dari gesekan dua benda untuk mencairkan logam ketika pengelasan las gesek adalah fungsi dari putaran yang digunakan, tekanan dan koefisien gesek. Nilai dari energi yang masuk ($d\dot{Q}$) didekati dengan persamaan akibat gaya gesek yang ditimbulkan :

$$d\dot{Q} = \omega \cdot dM_t \quad (2-1)$$

Dengan ω merupakan kecepatan sudut dan dM_t merupakan perbedaan momen torsi pada radius. dM_t dapat diperoleh dengan :

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

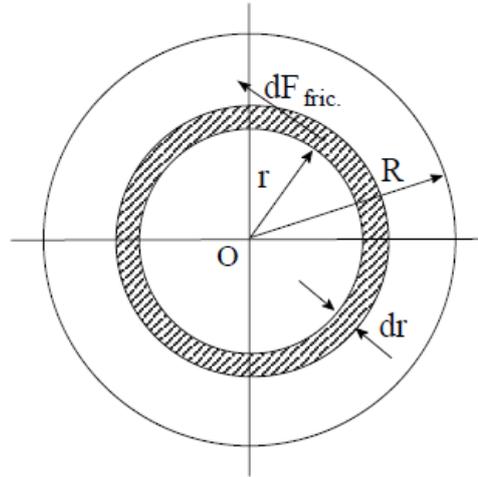
Dengan dF_{friction} merupakan gaya gesek antara spesimen pada permukaan dr dan r adalah radius spesimen. Dapat diteruskan bahwa gaya gesek dF_{friction} merupakan koefisien gesek dikalikan dengan gaya aksial dari tekanan P dari permukaan spesimen dengan radius dr dan dapat dirumuskan :

$$dF_{\text{friction}} = \mu \cdot P \cdot 2\pi r \cdot dr \quad (2-3)$$

Dari persamaan 2-2 dan 2-3 di atas dapat kita substitusikan ke persamaan 2-1 menjadi :

$$d\dot{Q} = 2\pi \cdot \mu \cdot \omega \cdot P \cdot r^2 \cdot dr \quad (W) \quad (2-4)$$

Diperoleh total energi dari permukaan yang bergesekan adalah panas yang timbul akibat permukaan spesimen r dan dr dari sumbu putar yang ditunjukkan seperti pada gambar



Gambar 2.7 Skema Permukaan Spesimen yang Bergesekan

Sumber : Can dkk, 2010

Rumus (2-4) tersebut kemudian diintegalkan dengan nilai R pada (spesimen pejal) untuk menjelaskan jumlah kalor yang terjadi selama proses gesekan.

$$d\dot{Q} = \int_0^R 2\pi \cdot \mu \cdot \omega \cdot p \cdot r^2 \cdot dr$$

$$\dot{Q} = 2\pi \cdot \mu \cdot \omega \cdot p \cdot \frac{r^3}{3} \Big|_0^R$$

$$\dot{Q} = \frac{2}{3} \pi \cdot \mu \cdot \omega \cdot p \cdot R^3 \quad (W) \quad (2-5)$$

dengan :

\dot{Q} = energi pengelasan (W)

ω = kecepatan putaran spindle (rad/sec)

μ = koefisien gesek aluminium

p = *friction pressure* (N/m²)

R = radius spesimen (m)

M_t = Momen torsi (kg.m)

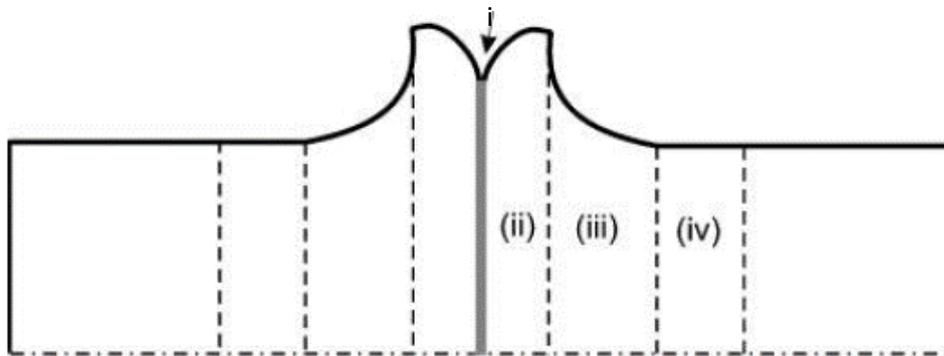
2.6 Heat Affected Zone (HAZ)

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 semakin besar pula daerah HAZ yang terbentuk. Ini akan menyebabkan kekuatan dari sambungan las tersebut akan semakin menurun.

Pada pengelasan gesek, beberapa bagian penting dibagi menjadi 4 yaitu :

1. *Z_c* (*Contact region*) merupakan bagian dari hasil pengelasan gesek yang menyatu dan mengalami deformasi plastis.
2. *Z_{pl}* (*Fully plasticized region*) adalah daerah sambungan yang mengalami deformasi plastis secara keseluruhan namun tidak ikut menyatu saat pengelasan.
3. *Z_{pd}* (*Partly deformed region*) merupakan daerah yang mengalami panas serta deformasi sebagian yang diakibatkan proses pengelasan.
4. *Z_{ud}* (*Undeformed region*) atau daerah yang kurang terpengaruh panas ketika proses pengelasan.

Untuk mengetahui daerah *Z_c*, *Z_{pl}*, *Z_{pd}*, dan *Z_{ud}* maka dapat dilihat melalui foto makrostruktur.



Gambar 2.8 *Z_c* (i), *Z_{pl}* (ii), *Z_{pd}* (iii), dan *Z_{ud}*(iv)

Sumber : Maalekian (2007)

2.7 Suhu Pengelasan

Pada proses pengelasan gesek, material tidak sampai mencair untuk terjadi proses penyambungan. Material pengelasan gesek hanya perlu mencapai suhu rekristalisasi agar bisa menyatu. Suhu rekristalisasi bisa diketahui dengan menggunakan rumus :

$$T_r = 15\% \times T_c$$

Dengan :

T_r = Suhu rekristalisasi (°C)

T_c = Suhu cair (°C)

2.8 Pengujian Kekerasan

Kekerasan merupakan kemampuan dari suatu material untuk menahan beban indentasi atau penetrasi pada permukaannya. Nilai kekerasan suatu logam diukur dengan memberikan beban menggunakan indenter ke permukaan material tersebut. Bentuk dari

indentor pada umumnya piramida, bola, atau kerucut, yang dibuat dari material yang memiliki kekerasan yang lebih tinggi dibanding material yang diuji.

Pengujian kekerasan yang digunakan memiliki beberapa metode sesuai dengan ukuran, bahan, dan lain-lain. Metode tersebut antara lain :

1. Pengujian *Rockwell*

Ada dua macam pengujian *Rockwell* yaitu *Rockwell* dan *superficial Rockwell*. Pada pengujian *Rockwell*, beban *minor* sebesar 10 kgf dan beban *major* sebesar 60, 100, atau 150 kgf. Pada pengujian *superficial Rockwell*, beban *minor* sebesar 3 kgf dan beban *major* sebesar 15, 30, atau 45 kgf. Pada kedua pengujian tersebut, indentor bisa kerucut intan atau bola baja tergantung pada karakteristik material yang diuji.

2. Pengujian *Brinnell*

Pengujian *Brinnell* merupakan pengujian indentasi yang sederhana untuk menentukan kekerasan dari berbagai macam bahan. Pengujian terdiri dari pemberian beban konstan biasanya antara 500 dan 3000 kgf, untuk waktu tertentu (10 sampai 30 detik) menggunakan bola tungsten karbida yang berdiameter 5 atau 10 mm pada permukaan spesimen. Setelah beban dihilangkan, jejak bulat akibat indentasi diukur menggunakan mikroskop berdaya rendah.

3. Pengujian *Vickers*

Metode pengujian *Vickers* mirip dengan prinsip *Brinnel* dimana indentor yang berbentuk ditekan pada permukaan material, gaya indentasi dihilangkan, diagonal indentasi yang dihasilkan diukur dan angka kekerasannya dihitung dengan membagi gaya dengan luas lekukan permukaan.

Pengujian *Vickers* terbagi menjadi dua jenis pengujian kekerasan yang berbeda yaitu pengujian makro dan mikro. Kedua pengujian ini didefinisikan oleh besarnya gaya. *Microindentation Vickers* diberikan gaya sebesar 1 sampai 1000 gf, sedangkan *macroindentation* diberikan gaya sebesar 1 sampai 120 kgf.

2.8.1 Pengujian *Vickers*

Seperti yang sudah disebutkan sebelumnya, prinsip pengujian *Vickers* serupa dengan pengujian *Brinnel*, namun pengujian *vickers* dilakukan dengan gaya penekanan dan indentor yang berbeda. Indentor intan berbentuk piramida diberikan beban dari 1-120 kgf pada permukaan material yang diuji. Setelah gaya mencapai kondisi statis dan penetrasi lebih lanjut dihentikan, gaya yang tersisa diterapkan untuk waktu tertentu (10 sampai 15 detik) dan kemudian dihilangkan. Hasilnya diagonal indentasi diukur, digunakan untuk

menghitung nilai kekerasan Vickers (HV). Indentor Vickers mempunyai sudut 136° dan nilai kekerasannya dihitung dari persamaan berikut :

$$HV = \frac{2P \sin\left(\frac{136}{2}\right)}{d^2}$$

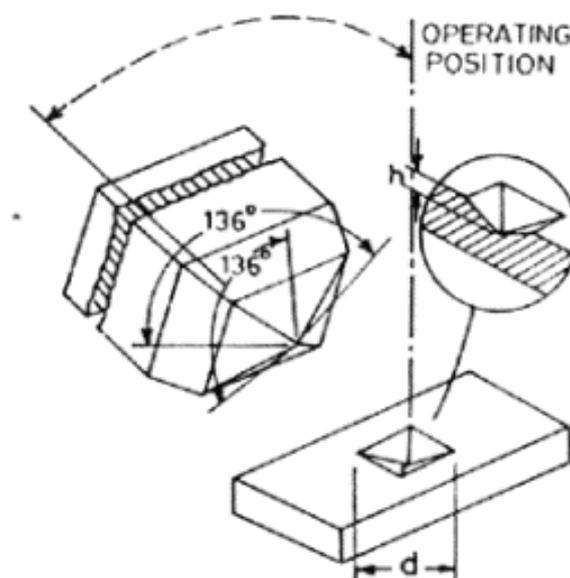
$$HV = \frac{1,8544 P}{d^2}$$

Dengan :

HV : Vickers Hardness Number (Kg/mm^2)

P : Beban indentor (Kg)

d : Panjang rata-rata diagonal hasil penekanan (mm)



Gambar 2.9 *Vickers Method*

Sumber : Voort, ASM Metal Handbook Vol. 8 (2000)

Pengujian vickers memiliki tingkat ketelitian yang paling tinggi dibanding metode pengujian lainnya. Pengujian ini bisa digunakan hingga material tipis sampai 0,005 in.

2.9 Cacat Pada Daerah Las

Cacat las merupakan suatu keadaan dimana terjadi penurunan kualitas dari hasil sambungan lasan. Penurunan Kualitas yang dimaksudkan adalah penurunan kekuatan setelah dilakukan pengelasan dibandingkan kekuatan sebelum dilakukan pengelasan / bahan dasar, dan menurunnya performa atau tampilan dari hasil pengelasan. Cacat pada daerah las akan menyebabkan banyak hal yang tidak diinginkan misalnya mengarah pada turunnya tingkat keselamatan kerja. Macam – macam cacat las yang dapat terjadi antara lain sebagai berikut:

1. Cacat porositas

Porositas adalah cacat las akibat terjebaknya gas dalam logam las. Gas akan mudah menyusup saat logam dalam fase cair. Saat logam mulai membeku dalam waktu yang relative cepat maka gas akan terjebak dan membentuk pori.

2. *Lock of fusion*

Lock of fusion adalah cacat yang disebabkan akibat panas masuk tidak terdistribusi dengan sempurna, akibatnya terdapat sebagian logam yang tidak melebur dan berakibat pada adanya lasan yang tidak tersambung.

3. *Inclusions*

Inclusion adalah cacat las yang terjadi akibat adanya slug yang terjebak dalam hasil lasan. Cacat ini biasa terjadi pada *TIG-welding* dengan menggunakan elektroda tungsten.

4. *Cracking*

Cracking adalah cacat las yang terjadi akibat dari banyak faktor diantaranya akibat kecepatan pendinginan, jenis logam yang disambungkan dan lain – lain.

5. *Undercut*

Undercut adalah cacat las yang disebabkan karena pemakanan salah satu dari kedua sisi lasan. Cacat ini dapat disebabkan karena kurangnya peleburan pada sisi las.

2.10 Aplikasi Las Gesek



Electrical connectors



Air bag canisters

Gear levers

Stanley tools



Airbag component

Drill bits

Engine valves

Gambar 2.10 Aplikasi Las Gesek

Sumber : Uzkut (2010)

2.11 Hipotesa

Berdasarkan teori dan beberapa penelitian yang sudah pernah dilakukan dapat ditarik hipotesa bahwa variasi *upset force* pada pengelasan gesek Al-Mg-Si dengan *chamfer* satu sisi akan berpengaruh pada suhu dan distribusi kekerasannya. Suhu pengelasan dipengaruhi oleh sudut *chamfer*, tetapi tidak terlalu terpengaruh *upset force* dikarenakan suhu maksimal pengelasan terjadi saat mesin masih menyala, sedangkan *upset force* diberikan saat mesin sudah dimatikan. Sedangkan semakin besar *upset force* maka semakin besar nilai kekerasannya, dikarenakan struktur butiran yang semakin mengecil akibat dari semakin meningkatnya *upset force*.