

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Sudrajat (2012), menganalisa sifat mekanik hasil pengelasan Aluminium AA 1100 dengan metode *friction stir welding*. Pada peneliian tersebut menggunakan kecepatan pengelasan 15mm/menit dengan variasi putaran mesin yaitu: 780 rpm, 980rpm, 1120rpm. Hasil *Ultimate strength* pada pengelasan ini dengan putaran *tool* 780 rpm sebesar 52.222 Mpa, untuk putaran *tool* 980 rpm sebesar 38.472 Mpa dan putaran *tool* 1120 sebesar 56.528 Mpa.

Muthukumaran (2013) dalam penelitiannya yang berjudul “*An analysis to optimize the process parameters of friction stir welded low alloy steel plates*” didapatkan kesimpulan bahwa sudut kemiringan alat adalah parameter paling berpengaruh dengan presentase 63,46%, *feed rate* 32,83%, putaran *tool* 2,81%.

Wijayanto (2010), yang berjudul “analisa sifat mekanik dari hasil pengelasan dengan metode *friction stir welding* pada Aluminium 6110”. Penelitian ini menghasilkan kekuatan yield dan kekuatan tarik sangat berbeda dengan logam induk, ini disebabkan oleh temperature tinggi saat pengelasan. Stir zone memiliki kekerasan sekitar 37,5 VHN, hal ini dikarenakan pengaruh temperature tinggi pada saat proses pengelasan.

Mohapatra (2011) dalam penelitiannya yang berjudul “*Mechanical and Micro-structural Study of Friction Stir Welding of Al-alloy*” didapatkan kesimpulan bahwa Kekuatan tarik lasan lebih baik dari logam induk serta nilai-nilai kekerasan zona las dan HAZ yang lebih rendah dari logam induk yang menunjukkan keuletan peningkatan.

2.2 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, 2000). Adanya penambahan unsur Cu, Mg, Si, Mn, Zn, N dan sebgainya akan meningkatkan kekuatan mekanik dari Aluminium (Surdia, 1999). 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 perindustrian.

Tabel 2.1 Komposisi Kimia Aluminium A1090


SPECTRO

PT.H.P.METALS INDONESIA

122804

Method: Al-SS-6063

10/6/2015 7:10:18 AM

Comment: Al-Base SS-6063

Element Concentration

Sample No.:

Sample ID:

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
	%	%	%	%	%	%	%	%
1	0.132	0.564	0.0762	0.0059	0.0232	0.0011	0.0078	0.0209
2	0.134	0.573	0.0787	0.0060	0.0243	0.0011	0.0078	0.0231
3	0.134	0.591	0.0766	0.0060	0.0240	0.0012	0.0084	0.0215

	Na	Ca	Ni	Pb	P	Sn	Sb	Sr
	%	%	%	%	%	%	%	%
1	0.00021	< 0.00010	0.0047	0.00094	< 0.00050	0.0030	0.00081	0.00010
2	0.00033	< 0.00010	0.0047	0.0010	< 0.00050	0.0053	0.0032	0.00026
3	0.00021	< 0.00010	0.0048	0.00095	< 0.00050	0.0030	0.0014	0.00013

	Be	Zr	Bi	Cd	Al			
	%	%	%	%	%			
1	0.00006	0.0012	< 0.00030	0.00052	99.2			
2	0.00006	0.0016	< 0.00030	0.00058	99.1			
3	0.00006	0.0014	< 0.00030	0.00053	99.1			

Method: Al-SS-6063

10/6/2015 7:10:18 AM

Comment: Al-Base SS-6063

Element Concentration

Sample No.:

Sample ID:

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
	%	%	%	%	%	%	%	%
Ø (3)	0.134	0.576	0.0772	0.0060	0.0238	0.0012	0.0080	0.0218

	Na	Ca	Ni	Pb	P	Sn	Sb	Sr
	%	%	%	%	%	%	%	%
Ø (3)	0.00025	< 0.00010	0.0047	0.00097	< 0.00050	0.0038	0.0018	0.00016

	Be	Zr	Bi	Cd	Al			
	%	%	%	%	%			
Ø (3)	0.00006	0.0014	< 0.00030	0.00054	99.1			

Sumber : PT. H.P.METAL INDONESIA

Tabel 2.2 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

Pengkodean aluminium umumnya berdasarkan standar AA (Aluminium Association of America) dengan menggunakan penamaan 4 angka.

Urutan ke-1 ke-2 ke-3 ke-4 ke-5 ke-6 ke-7

A

A 1 1 0 0 P H-24

Huruf pertama A adalah singkatan dari Aluminium Angka ke-2 : menunjukkan jenis paduannya seperti ditunjukkan berikut:

- 1 : Aluminium murni dengan kadar 99 % atau lebih
- 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
- 5 : Paduan Al-Mg
- 6 : Paduan Al-Mg-Si

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 aluminum murni. Angka ke-6 menunjukkan bentuk dari material **P** : Plate (pelat), **W**: Wire (kawat), **T**: Tube (tabung), **B**: Bar (batang). Angka ke-7 menunjukkan macam perlakuan panas yang telah dilakukan seperti ditunjukkan di tabel berikut ini:

Kode	Arti	Kode	Arti
- F	Murni hasil produksi	-T2	Anil total (Full Annealing)
- O	Anil total (Full Annealing)	-T3	Solution heat-treated (didinginkan seketika dari temperature cair), lalu pengerjaan dingin, lalu dibiarkan pada suhu ruang (natural aging)
- H	Pengerasan pengerjaan (work hardening)	-T4	Solution heat-treated, lalu natural aging
-H1n	Pengerasan dengan pengerjaan	-T5	Didinginkan cepat dari pembentukan suhu tinggi, kemudian di "aging/penuaan" secara buatan.
-H2n	Pengerasan dengan pengerjaan lalu dianil sebagian	-T6	Solution heat-treated lalu penuaan buatan, artificial aging (di atas suhu ruang)
-H3n	Pengerasan pengerjaan kemudian dianil dengan stabil	-T7	Solution heat-treated lalu distabilisasi
n=2 (1/4 pengerasan), 4 (1/2 pengerasan), 6 (3/4 pengerasan), 8 (pengerasan dengan rasio pengerjaan 75%), 9 (pengerasan khusus)		-T8	Solution heat-treated, pengerasan pengerjaan, penuaan buatan
		-T9	Solution heat-treated, penuaan buatan, pengerasan pengerjaan
-T	Diperlakukan panas	-T10	Setelah pengerjaan/pembentukan pada suhu tinggi, didinginkan cepat, pengerasan dengan pengerjaan, penuaan buatan

2.2.1 Standarisasi Aluminium

Secara umum paduan Aluminium dapat diklasifikasikan berdasarkan unsur-unsur paduan. Dari klasifikasi diatas Aluminium dapat dibagi menjadi 7 macam yaitu:

1. Al-Murni seri 1xxx

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

2. Copper (Al-Cu) seri 2xxx

- tahan korosinya rendah dibanding dengan paduan Aluminium yang lainnya.
- Sifat mampu lasnya juga kurang baik
- Biasanya Aluminium ini digunakan untuk konstruksi paku keling, pesawat terbang.

3. Mangan (Al-Mn) seri 3xxx

- Tidak dapat diperlakukan panas sehingga untuk peningkatan kekuatannya hanya dapat dilakukan dengan perlakuan dingin dalam proses pembuatannya.
- Tahan korosi
- Memiliki kekuatan yang tinggi

4. *Silicon* (Al-Si) seri 4xxx

- tidak dapat diperlakukan panas
- jika dalam keadaan cair mempunyai sifat mampu alir yang baik dan dalam proses pembekuannya hampir tidak terjadi retak (wiryosumarso, 2000)

5. *Magnesium* (Al-Mg) seri 5xxx

- tidak dapat diperlakukan panas
- mempunyai daya tahan terhadap korosi sangat baik terutama terhadap air laut.
- Mempunyai sifat mampu las yang baik

6. *Magnesium dan Silicon* (Al-Mg-Si) seri 6xxx

- Dapat dipelakukan panas
- Memiliki sifat mampu potong
- Memiliki sifat mampu las
- Daya tahan terhadap korosi yang cukup

7. *Zinc* (Al-Zn) seri 7xxx

- dapat diperlakukan panas
- unsur yang ditambahkan pada paduan ini adalah Mg, Cu, dan Cr
- tahan korosi

2.2.2 Sifat - sifat Aluminium Paduan

Aluminium paduan mempunyai sifat – sifat yang lebih baik dibandingkan dengan Aluminium murni, terutama tingkatan kekuatannya. Aluminium berwarna putih kebiru – biruan, lebih keras dari timah putih, tetapi lebih lunak dari pada seng. Untuk meningkatkan dan memperbaiki kekuatan mekanisnya logam Aluminium perlu ditambah dengan unsur paduan.

Beberapa sifat – sifat dari Al paduan (Heine, 1985 : 260) :

1. Ringan

Aluminium merupakan logam yang ringan, beratnya 2720 kg/m^3 . Oleh sebab Aluminium sering menggantikan baja dalam beberapa hal seperti di industry pesawat terbang, otomotif, perkapalan, alat – alat listrik, dll

2. Konduktivitas panas

Aluminium memiliki konduktivitas panas yang baik, hal ini dapat diamati melalui kecepatan alir panas dari daerah temperature tinggi ke temperature rendah. Jadi Aluminium sering digunakan sebagai alat – alat pemindah panas.

3. Konduktivitas listrik

Konduktivitas listrik pada Aluminium adalah sekitar 65% dari konduktivitas tembaga. Tetapi karena berat jenis Aluminium sepertiga berat jenis tembaga maka untuk berat yang sama daya hantar listrik pada Aluminium lebih besar 2 kali lipat dari daya hantar tembaga.

4. Kekerasan

Kekerasan Aluminium murni relative rendah, yaitu untuk kandungan 99,99% Aluminium adalah 17 BHN. Selain itu kekerasan dapat pula ditingkatkan dengan proses perlakuan panas.

5. Titik cair

Titik cair Aluminium relatif rendah yaitu sekitar 660°C . sifat inilah yang menguntungkan terutama dalam proses pengecoran Aluminium paduan.

6. Ketahanan korosi

Aluminium termasuk logam yang tahan terhadap korosi, diakibatkan apabila proses korosi pada Aluminium mulai terjadi, pada permukaan Aluminium tersebut akan muncul lapisan Aluminium oksida, yang akan menghidarkan permukaan Aluminium kontak dengan oksigen yang terdapat di udara bebas, sehingga proses korosi akan terhenti.

2.3 Pengelasan

Pengelasan merupakan salah satu cara untuk menyambungkan dua logam. Menurut definisi dari *Deutsche Industrie Normen* adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang terjadi dalam keadaan lumer atau cair. Metode pengelasan diklasifikasikan sebagai berikut:

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 sambungan yang disatukan dengan menggunakan paduan logam yang mempunyai titik cair rendah. dalam metode ini material yang disambung tidak ikut lebur.

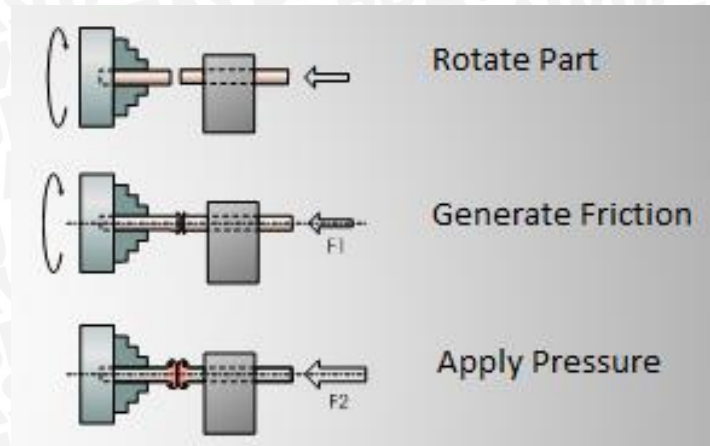
untuk lebih jelasnya dari pengklasifikasian ini dapat dilihat pada gambar 2.1 dibawah ini

Sumber : Wiryosumarto, 2000

pengelasan tekan. Las (*welding*) adalah proses pengelasan yang dilakukan dengan cara mencairkannya melalui pemanasan (Sriwijaya, 2019). Hal ini terjadi karena adanya panas yang ditimbulkan dari gesekan. Ada dua cara penggesekannya *Friction welding* dan *Resistance welding*. Panasnya dihasilkan dari gesekan kedua pe...

Contoh adalah *continous drive Friction welding*.

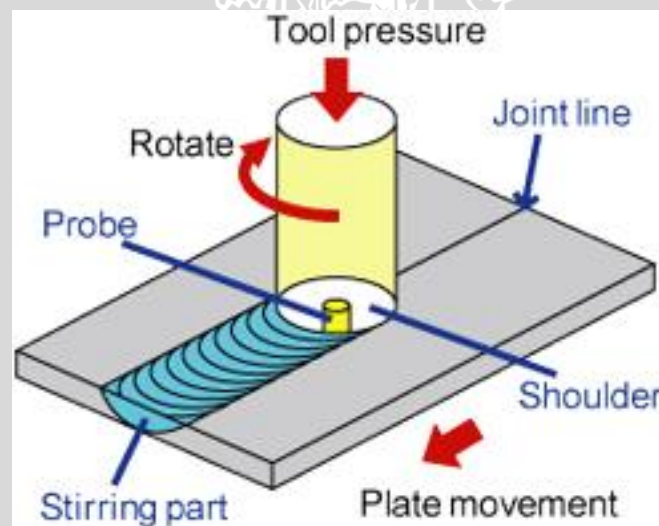
- a. Las gesek yang sumber panasnya dihasilkan dari gesekan kedua permukaan benda kerja. Sebagai contoh adalah *continous drive Friction welding*.



Gambar 2.2 Mekanisme Las Gesek

Sumber : <http://www.coldwatermachine.com>

- b. Las gesek yang sumber panasnya dari gesekan permukaan benda kerja dengan pahat (*tool*). Sebagai contoh adalah *friction stir welding*.



Gambar 2.3 *Friction stir welding*

Sumber : www.utwente.nl

2.3.2 Friction Stir Welding

FSW (*friction stir welding*) adalah metode pengelasan yang prosesnya tidak memerlukan material penambah atau pengisi. Panas yang digunakan untuk mencairkan logam kerja dihasilkan dari gesekan antara *pin* dengan benda kerja. Gesekan tersebut menimbulkan panas sampai $\pm 80\%$ dari titik cair material kerja. Persamaan *heat input* akibat gesekan antara *tool* pengelasan dan benda kerja adalah sebagai berikut:

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

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

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

$$Q_{\text{total}} = Q_{\text{shoulder}} + Q_{\text{probe side}} + Q_{\text{probe tip}}$$

Atau

$$Q = \frac{2}{3} \pi \cdot \omega \cdot \tau_{\text{contact}} (R_{\text{shoulder}}^3 + 3R_{\text{probe}}^2 \cdot H_{\text{probe}}) \text{ (D. Lohwasser, Hal : 280)}$$

Keterangan:

Q = Panas total yang dihasilkan (J/s)

ω = Kecepatan putar (rad/s)

R_{shoulder} = Jari – jari *shoulder* (m)

R_{probe} = Jari – jari *probe* (m)

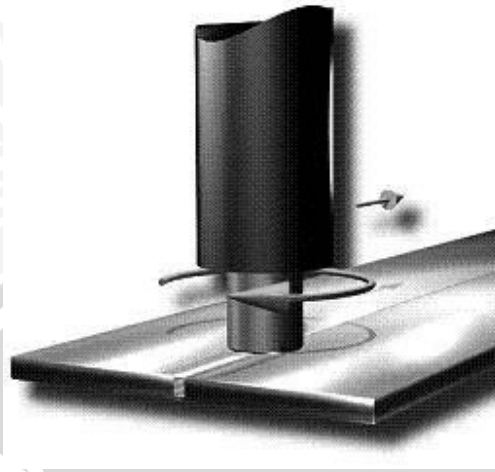
H_{probe} = Tinggi *probe* (m)

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

Pengelasan dengan menggunakan metode FSW bisa digunakan untuk menyambungkan material yang sama (*similar metal*) ataupun material yang tidak sama (*dissimilar metal*). Berikut adalah hal - hal yang harus diperhatikan dalam proses pengelasan ini akan dijelaskan lebih lanjut di bawah ini.

1. Rotasi *Tool* dan Kecepatan Melintang

Terdapat dua kecepatan yang harus diperhitungkan dalam pengelasan ini yaitu seberapa cepat *tool* itu berputar dan seberapa cepat *tool* itu melintasi.

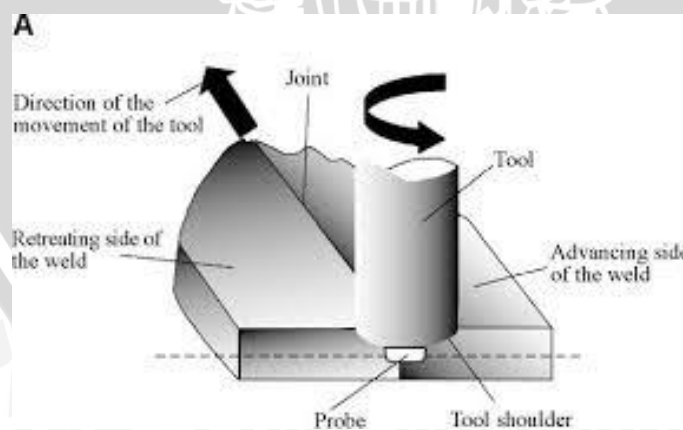


Gambar 2.4 Gerakan *Tool*

Sumber : Wijayanto & Anelis (2010) Pengaruh Feed Rate terhadap Sifat Mekanik pada Pengelasan Friction Stir Welding Aluminium 6110

2. *Plunge depth* dan Tekanan *Tool*

Plunge depth adalah kedalaman titik terendah probe di bawah permukaan material yang dilas. *Plunge depth* yang dangkal dapat mengakibatkan cacat dalam lasan, sebaliknya *plunge depth* yang berlebihan bisa mengakibatkan kerusakan *pin* karena berinteraksi dengan alasnya.



Gambar 2.5 *Plunge depth* dan Tekanan *Tool*

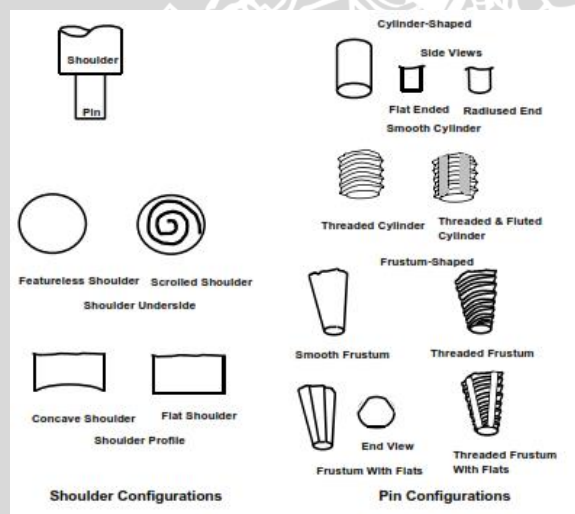
Sumber : thomasnet.com

Tekanan *Shoulder* digunakan untuk menjaga material lunak tidak keluar dan memberi efek tempa (*forging*). Tekanan *Shoulder* juga menghasilkan panas tambahan karena permukaannya yang lebih besar bergesekan dengan material.

3. Rancangan *Tool*

Rancangan *tool* adalah faktor yang sangat mempengaruhi kualitas hasil lasan, karena rancangan *tool* yang tepat akan mempengaruhi kualitas las dan kecepatan las. 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.

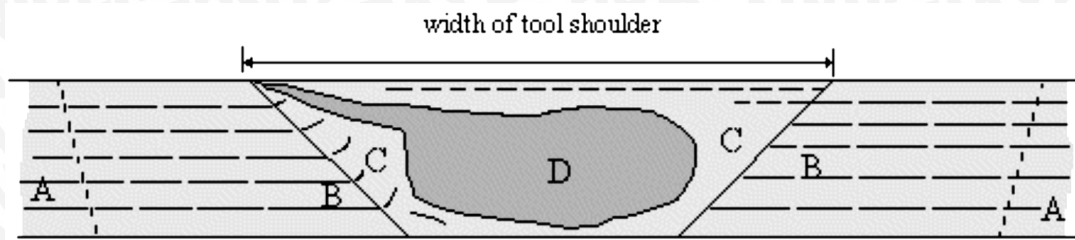


Gambar 2.6 Konfigurasi *Shoulder* dan *Pin*

Sumber: Terry (2005: 14)

4. Makrostruktur Hasil Pengelasan

Makrostruktur hasil pengelasan *friction stir welding* yang terdiri dari bagian adukan (*stir zone*), bagian pengaruh panas secara termomekanik (*thermomechanical affected zone*) serta bagian pengaruh panas (*heat affected zone*). Bagian adukan (*stir zone*) mengalami laju tegangan dan regangan tertinggi serta temperatur yang tinggi.



Gambar 2.7 Makrostruktur hasil pengelasan dengan metode *friction stir welding*, A. logam induk. B. HAZ, C. TMAZ, D. stir zone (weld nugget)

Sumber : ASM. 2007. Friction Stir Welding And Processing.

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*

2.3.3 Sifat mampu las Aluminium

Dalam hal pengelasan paduan Aluminium mempunyai sifat yang kurang baik bila dibandingkan dengan baja. Sifat – sifat kurang baik tersebut yaitu :

1. Karena memiliki koefisien muai dan daya hantar panas yang tinggi membuat kesulitan ketika diperlukan pemanasan atau mencairkan sebagian dari dimensinya
2. Paduan Aluminium mudah teroksidasi, dan membentuk oksida alumina (Al_2O_3) yang mempunyai titik cair tinggi sehingga peleburan antara logam dasar dengan logam las menjadi terhalang
3. Koefisien muai yang tinggi menyebabkan mudah terjadi deformasi
4. Perbedaan yang tinggi antara kelarutan hydrogen dalam logam cair dan logam padat, menyebabkan proses pengelasan dan pendinginan yang cepat berakibat terperangkapnya gas hidrogen dan terbentuk cacat rongga halus di dalam hasil lasan.

Beberapa jenis paduan aluminium yang mempunyai sifat mampu las yang baik antara lain (Wirjosumarto, 2000) :

1. Aluminium murni dan paduan aluminium Al – Mn
2. Paduan Al – Mg
3. Paduan Al – Zn – Mg
4. Paduan Al – Mg – Si

Sedangkan paduan Al – Cu dan paduan Al – Zn memiliki sifat mampu las yang kurang.

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

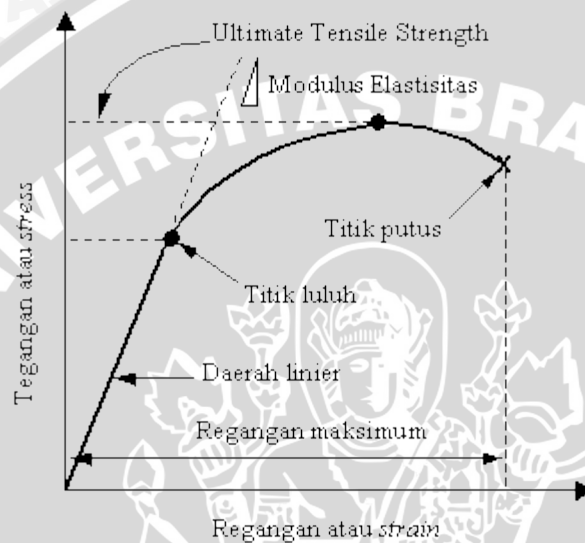
1. Retak las, merupakan retak panas yang terjadi pada proses pembekuan dan pencairan. Retak pada proses pembekuan disebabkan karena adanya penyusutan butir logam yang membeku dan dapat menimbulkan retak manik membujur, retak manik melintang, dan retak kawah. Retak pada proses pencairan disebabkan karena 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. (Wirjosumarto, 2008 : 115 & 116)

2.4 Pengujian kekuatan las

Pengujian yang akan dilakukan untuk mengetahui kekuatan las yang dihasilkan pada penelitian ini benda kerja akan diberikan pengujian tarik. Uji tarik merupakan salah satu pengujian yang dilakukan pada material untuk mengetahui karakteristik dan sifat mekanik material terutama kekuatan dan ketahanan terhadap beban tarik. Dari pengujian ini, maka kita bisa menentukan apakah benda kerja seperti ini cocok dengan kebutuhan penggunaan. Uji kekerasan untuk mengetahui distribusi kekerasan pada benda kerja, terutama pada daerah stir zone, *thermomechanical affected zone (TMAZ)*, dan *heat affected zone (HAZ)*.

2.4.1 Pengujian tarik

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui kekuatan material ketika diberikan pembebanan tarik. Dari sekian banyak pengujian mekanik yang dapat dilakukan hanya pengujian tarik yang dapat menghasilkan keluaran representatif dari perilaku mekanis material. Hasil yang diharapkan pada pengujian ini adalah perilaku mekanik dan karakteristik perpatahannya.



Gambar 2.8 Grafik hubungan tegangan – regangan Aluminium

Sumber: www.infometrik.com/2009/09/mengenai-uji-tarik-dan-sifat-sifat-mekanik-logam/

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

1. Daerah Linier

Daerah yang mana tegangan dan regangan mempunyai hubungan yang proporsional satu dengan yang lain. Dimana setiap penambahan tegangan diikuti dengan bertambahnya regangan.

2. Titik Luluh

Titik dimana material mengalami deformasi tanpa adanya penambahan tegangan.

3. *Ultimate Tensile Strength*

Merupakan tegangan tertinggi yang dapat ditanggung oleh spesimen. Pada saat *ultimate tensile strength*, spesimen mengalami *necking* dengan diikuti penurunan tegangan tapi panjangnya tetap bertambah sampai pada akhirnya putus.

4. Titik Putus

Dimana spesimen putus setelah mencapai tegangan maksimum. Pada prosesnya spesimen akan mengalami *necking* sebelum akhirnya putus. Pada bahan ulet kekuatan putus bernilai lebih kecil dengan kekuatan maksimum, sedangkan pada bahan getas kekuatan putus bernilai sama dengan kekuatan maksimum

Besarnya kekuatan tarik tergantung dari gaya yang diberikan tiap satuan luas.

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

dengan :

A = Luas permukaan penampang (mm²)

σ = Tegangan tarik (Mpa)

P = Gaya tarik (N)

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

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

dengan :

ϵ = Regangan (%)

L_0 = Panjang awal lengan uji / ukur (mm)

L = Panjang akhir lengan uji / ukur (mm)

2.4.2 Pengujian Kekerasan

Kekekeraan merupakan kemampuan suatu bahan atau material menahan penetrasi. Ada beberapa metode pengujian kekerasan

a. Metode *Brinell*

metode ini diajukan oleh J.A *Brinell* pada tahun 1900, metode uji kekerasan ini berupa pembentukan lekukan pada permukaan material menggunakan indenter berbentuk bola. Untuk mengukur diameter hasil penekanan menggunakan mikroskop pengukur. Pengukuran kekerasan material di dapat dari rumus:

$$\text{BHN} = \frac{2P}{\pi D(D\sqrt{D^2 - d^2})}$$

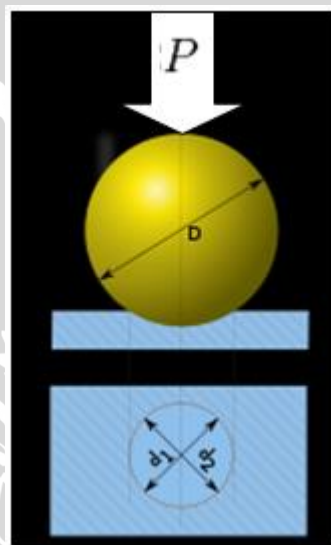
Dimana :

BHN = *Brinell* Hardness Number

P = beban yang diberikan (kgf)

D = Diameter indenter (mm)

d = Diameter lekukan (mm)



Gambar 2.9 Skema metode pengujian *Brinell*

Sumber : <http://kalogueloe.blogspot.com/2013/03/pengujian-keras-Brinell-Vickers.html>

Prosedur standar pengujian adalah menggunakan indenter berupa bola baja berdiameter 10 mm dan beban penekanan yang diberikan sebesar 3000 kgf untuk pengujian logam-logam ferrous, atau 500 kgf untuk logam non-ferrous. Waktu penekanan sekitar 10 detik logam ferrous dan 30 detik logam non-ferrous.

Kelebihan metode ini sangat dianjurkan untuk material uji yang bersifat heterogen. Sedangkan kekurangannya, butuh ketelitian saat mengukur diameter hasil indentasi.

b. Metode *Vickers*

Uji kekerasan *Vickers* menggunakan berupa indenter piramida intan, besar sudut antar permukaan piramida intan adalah 136 derajat . Ada dua rentang kekuatan micro (10g – 1000g) dan macro (1kg – 100kg). Kekerasan material di hasilkan dari rumus:

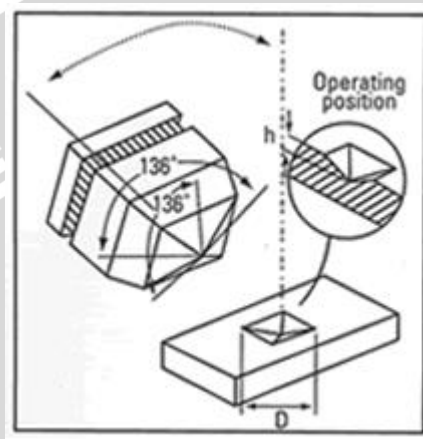
$$VHN = \frac{1,854 \times P}{d^2}$$

Dimana :

VHN = Vickers Hardness Number

P = beban yang diberikan (kgf)

d = panjang diagonal



Gambar 2.10 Skema metode pengujian Vickers

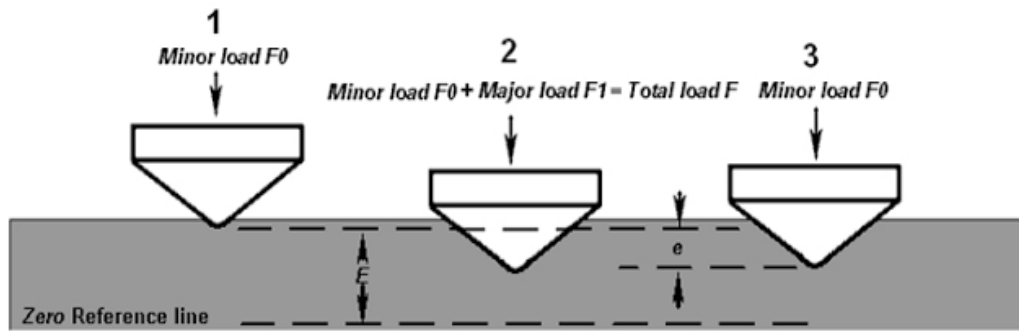
Sumber : <http://kalogueloe.blogspot.com/2013/03/pengujian-keras-Brinell-Vickers.html>

Prosedur standar pengujian adalah menggunakan indenter berupa piramida dengan sudut 136° . Prinsip pengujian adalah sama dengan metode *Brinell*, walaupun jejak yang dihasilkan berbentuk bujur sangkar berdiagonal. Panjang diagonal diukur dengan skala pada mikroskop pengukur jejak.

Kelebihan dari metode ini adalah dianjurkan untuk material yang sudah di proses case hardening dan tidak merusak karena hasil indentasi sangat kecil. Untuk kekurangannya adalah butuh ketelitian saat melakukan pengukuran hasil indentasi.

c. Metode Rockwell

Pengujian ini menggunakan 2 beban, yaitu beban minor/minor load (F_0) = 10 kgf dan beban mayor/mayor load (F_1) = 60kgf sampai dengan 150kgf. untuk menguji material yang kekerasannya sama sekali belum diketahui kita harus menggunakan *Rockwell HRC*, ini untuk mencegah rusaknya indenter karena kalah keras dibandingkan material yang di uji.



Gambar 2.11 Skema metode pengujian Rockwell

Sumber : <http://kalogueloe.blogspot.com/2013/03/pengujian-keras-Brinell-Vickers.html>

Tabel 2.3 Skala pada Metode Uji Kekerasan Rockwell

SCALE	MAJOR LOAD, KG	TYPE OF INDENTER	TYPICAL MATERIALS TESTED
A	60	Diamond cone	Extremely hard materials, tungsten carbides, etc.
B	100	$\frac{1}{16}$ " ball	Medium hard materials, low- and medium-carbon steels, brass, bronze, etc.
C	150	Diamond cone	Hardened steels, hardened and tempered alloys
D	100	Diamond cone	Case-hardened steel
E	100	$\frac{1}{8}$ " ball	Cast iron, aluminum and magnesium alloys
F	60	$\frac{1}{16}$ " ball	Annealed brass and copper
G	150	$\frac{1}{16}$ " ball	Beryllium copper, phosphor bronze, etc.
H	60	$\frac{1}{8}$ " ball	Aluminum sheet
K	150	$\frac{1}{8}$ " ball	Cast iron, aluminum alloys
L	60	$\frac{1}{4}$ " ball	Plastics and soft metals such as lead
M	100	$\frac{1}{4}$ " ball	Same as L scale
P	150	$\frac{1}{4}$ " ball	Same as L scale
R	60	$\frac{1}{2}$ " ball	Same as L scale
S	100	$\frac{1}{2}$ " ball	Same as L scale
V	150	$\frac{1}{2}$ " ball	Same as L scale

* Ametek Testing Equipment Systems, East Moline, Ill.

Sumber : Universitas Indonesia. 2009. Yuwono A, H. *Buku Panduan Praktikum Karakterisasi Material 1 Pengujian Merusak (Destructive Testing)*. Departemen Metalurgi Dan Material Fakultas Teknik

2.5 Hipotesa Penelitian

Proses penyambungan aluminium dengan metode pengelasan gesek memiliki hipotesa semakin besar putaran *tool*, gesekan yang terjadi juga akan semakin besar sehingga material lebih cepat lumer yang mana kecepatan lumer membantu *tool* untuk melakukan proses penyambungan. Semakin baik proses penyambungan kekuatan tarik hasil lasan akan ikut naik. Untuk pengulangan lintasan pengelasan, semakin banyak pengulangan maka ikatan mekanis antar material yang disambungkan juga semakin banyak sehingga kekuatan sambungan antar material juga akan semakin kuat. Namun pengulangan lintasan juga akan mencapai titik optimumnya, sehingga setelah mencapai titik optimum kekuatan las akan menurun dikarenakan semakin banyak pengulangan akan merusak ikatan mekanis sehingga kekuatan tarik sambungan turun.

