

**ANALISA SAMBUNGAN ALUMINIUM 5083 YANG  
DISAMBUNG MENGGUNAKAN METODE LAS GESEK**

**(Skripsi)**

**Oleh:**

**Nanjar Febriyanto**



**JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS LAMPUNG**

**BANDAR LAMPUNG**

**2018**

## **ABSTRACT**

# **ANALYSIS OF ALUMINIUM 8053 CONNECTION USING FRICTION STIR WELDING**

**By**

**Nanjar Febriyanto**

FSW (friction stir welding) is a welding method that includes friction welding, which in the process does not require any adder or filler material. The heat used to melt the working metal results from friction between a rotating object (pin) and a stationary object (workpiece). In this study the material used is aluminium 5083. This research was conducted to analyze the connection of aluminium 5083 by using friction stir method. Friction Stir Welding, to observe the tensile strength of aluminium 5083 welds and the choice of fault characteristics in Aluminium weld 5083.

Based on the results of tensile tests that have been done, obtained the largest tensile strength of rotation of rpm with welding speed 70 mm / minute that is equal to 91.385 MPa. Likewise at 1500 rpm rotation with welding speed of 70 mm / minute that is 154.69 MPa and 1800 rpm rotation with welding speed 70 mm / minute that is equal to 147,788 MPa.

Welding speed 84 mm / min less heat which is in the process of welding. Overall tensile strength is at the welding speed of 70 mm / min, the cause of the optimal heat generated and its own use off. While at welding speed of 84 mm / min tensile strength is smaller, because the heat required to unify the two materials is less than the maximum so that affect the tensile strength. Related to aluminium 5083 melting point is 660°C.

**Keywords: Friction stir welding, Tensile Test, Hardness, Aluminium 5083.**

## ABSTRAK

# ANALISA SAMBUNGAN ALUMINIUM 5083 YANG DISAMBUNG MENGGUNAKAN METODE LAS GESEK

Oleh:

**Nanjar Febriyanto**

FSW (*friction stir welding*) adalah sebuah metode pengelasan yang termasuk pengelasan gesek, yang pada prosesnya tidak memerlukan bahan penambah atau pengisi. Panas yang digunakan untuk mencairkan logam kerja dihasilkan dari gesekan antara benda yang berputar (pin) dengan benda yang diam (benda kerja). Pada penelitian ini bahan yang digunakan adalah aluminium 5083. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisa sambungan plat aluminium 5083 dengan menggunakan metode *Friction Stir Welding*, mengetahui kekuatan tarik hasil lasan aluminium 5083 dan mengetahui karakteristik patahan pada lasan aluminium 5083.

Berdasarkan hasil pengujian tarik yang telah dilakukan, didapat nilai hasil kekuatan tarik terbesar terdapat putaran 1200 rpm dengan kecepatan pengelasan 70 mm/menit yaitu sebesar 91,385 MPa. Begitu juga pada putaran 1500 rpm dengan kecepatan pengelasan 70 mm/menit yaitu sebesar 154,69 MPa dan putaran 1800 rpm dengan kecepatan pengelasan 70 mm/menit yaitu sebesar 147,788 MPa.

Secara keseluruhan nilai kekuatan tarik terdapat pada kecepatan pengelasan 70 mm/menit, dikarenakan panas yang dihasilkan optimal dan mempengaruhi kekuatan sambungan las itu sendiri. Sedangkan pada kecepatan pengelasan 84 mm/menit kekuatan tariknya lebih kecil, disebabkan karena panas yang dibutuhkan untuk menyatukan kedua bahan tersebut kurang maksimal sehingga mempengaruhi kekuatan tarik. Berkaitan dengan titik lebur Aluminium 5083 yaitu 660°C dengan kecepatan pengelasan 84 mm/menit kurang mendapatkan panas yang optimal dalam proses pengelasan *Friction Stir Welding* itu sendiri.

**Kata Kunci : *Friction stir welding* , Uji tarik, Kekerasan, Aluminium 5083.**

**ANALISA SAMBUNGAN ALUMINIUM 5083 YANG  
DISAMBUNG MENGGUNAKAN METODE LAS GESEK**

**Oleh**

*Nanjar Febriyanto*

**Skripsi**

Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar

**SARJANA TEKNIK**

Pada

Jurusan Teknik Mesin

Fakultas Teknik Universitas Lampung



**JURUSAN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS LAMPUNG**

**2018**

Judul Skripsi : **ANALISA SAMBUNGAN ALUMINIUM 5083  
YANG DISAMBUNG MENGGUNAKAN  
METODE LAS GESEK**

Nama Mahasiswa : **Nanjar Febriyanto**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1015021069

Jurusan : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik



**Dr. Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T.**  
NIP 19710817 199802 1 003

**Ir. Arinal Hamni, M.T.**  
NIP 19641228 199603 2 001

**2. Ketua Jurusan Teknik Mesin**

**Ahmad Su'udi, S.T., M.T.**  
NIP 19740816 200012 1 001

**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

**Ketua**

**: Dr. Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T.** .....

**Anggota Penguji**

**: Ir. Arinal Hamni, M.T.** .....

**Penguji Utama**

**: Tarkono, S.T., M.T.** .....



**2. Dekan Fakultas Teknik**



**Prof. Dr. Suharno, M.Sc., Ph.D.**  
NIP 19620717 198703 1 002

**Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 31 Desember 2017**

Riwayat Hidup

Penulis lahir pada tanggal 27 Februari 1997

**PERNYATAAN PENULIS**

Penulis lahir pada tanggal 27 Februari 1997

SKRIPSI INI DIBUAT SENDIRI OLEH PENULIS DAN BUKAN HASIL  
PLAGIAT SEBAGAIMANA DIATUR DALAM PASAL 27 PERATURAN  
AKADAEMIK UNIVERSITAS LAMPUNG DENGAN SURAT KEPUTUSAN  
REKTOR No.3187/H26/DT/2010.

Kemudian penulis mengucapkan terima kasih kepada keluarga, teman-teman, dan dosen-dosen yang telah membimbing dan membantunya dalam menyelesaikan skripsi ini.

**YANG MEMBUAT PERNYATAAN**



**NANJAR FEBRIYANTO**  
**NPM. 1015021069**

## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan pada tanggal 05 Februari 1992 sebagai anak tunggal di Wates Way Ratai, Kecamatan Padang Cermin, Kabupaten Pesawaran, Provinsi Lampung, dilahirkan dari pasangan Sujati dan Sumilah. Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar (SD) Negeri 01 Wates pada tahun 2003.

Kemudian penulis menyelesaikan di Sekolah Menengah Pertama (SMP) Negeri 2 Padang Cermin pada tahun 2006. Pada tahun 2009 penulis menyelesaikan pendidikannya dari Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) PGRI Pringsewu. Dan sejak tahun 2010 penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur Ujian Masuk Lokal (UML). Selama menjadi mahasiswa, penulis menjadi Pengurus Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) untuk periode 2012-2013 sebagai anggota divisi kaderisasi, selanjutnya penulis melaksanakan Kerja Praktek (KP) di PTPN 7. Sejak tahun 2016 bulan Maret, penulis mulai melakukan penelitian tugas akhir skripsi tentang “Analisa Sambungan Aluminium Al 5083 Yang Disambung Menggunakan Metode Las Gesek.”. Penulis mengerjakan skripsi dibawah bimbingan Bapak Dr. Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T. sebagai pembimbing utama dan Ibu Ir. Arinal Hamni, M.T. sebagai pembimbing kedua, serta Bapak Tarkono, S.T., M.T. sebagai penguji utama.

## **PERSEMBAHAN**

*Dengan kerendahan hati meraih Ridho Illahi Robbi  
kupersembahkan karya kecilku ini untuk orang – orang yang  
aku sayang*

### **Ibunda dan Ayahanda**

*Atas segala pengorbanan yang tak terbalaskan , doa,  
kesabaran, keiklasan, cinta dan kasih sayangnnya*

### **My Heart**

*Semoga engkau lah yang allah swt janjikan semenjak aku  
masih hanya sebuah “catatan” di lauhul mahfudz*

### **Sakabat Mesin 10”**

*Yang turut memberikan dukungan moril untuk terus ada  
disampingku ketika harapan mulai redup*

**Almamater tercinta Universitas Lampung**

## *Motto*

“Dan Allah mengeluarkan kamu dari perut ibumu dalam keadaan tidak mengetahui sesuatupun, dan Dia member kamu pendengaran, penglihatan dan hati, agar kamu bersyukur”

(QS. An Nahl : 78)

“sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan . Maka apabila kamu telah selesai dari suatu urusan, kerjakanlah urusan yang lain dan hanya kepada Allah hendaknya kamu berharap”

(QS. An insyirah : 6-8)

“Lebih baik merasakan sulitnya pendidikan sekarang dari pada rasa pahitnya kebodohan kelak”

(Penulis)

## SANWACANA

Segala puji syukur kehadirat Allah SWT. Atas nikmat kesehatan dan kesempatan yang diberikan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian tugas akhir ini. Sholawat serta salam selalu penulis haturkan kepada Nabi Muhammad SAW sebagai suritелadan bagi umat manusia. Sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul “**ANALISA SAMBUNGAN ALUMINIUM 5083 YANG DISAMBUNG MENGGUNAKAN METODE LAS GESEK**” merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tua penulis (Ibu dan Bapak) serta kakak dan adikku yang telah memberikan banyak pengorbanan, doa, kasih sayang, motivasi, semangat, harapan, materil dan spiritual, sehingga penulis dapat merasa aman dan nyaman selama menjalani pendidikan dan menyelesaikan skripsi di Universitas Lampung.
2. Bapak **Prof. Dr. Suharno, M.Sc.** selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
3. Bapak **Ahmad Su'udi, S.T., M.T.** selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Univeristas Lampung.

4. Bapak **Dr. Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T.** selaku Pembimbing Utama Tugas Akhir atas kesediaan dan keikhlasannya untuk memberikan dukungan, bimbingan, saran, dan kritik dalam proses penyelesaian skripsi ini.
5. Ibu **Ir. Arinal Hamni, M.T.** selaku Pembimbing Pendamping atas kesediaan dan keikhlasannya untuk memberikan bimbingan, motivasi dan saran untuk penyelesaian skripsi ini.
6. Bapak **Tarkono, S.T., M.T.** selaku dosen Pembahas yang telah memberikan masukan dalam penulisan laporan ini.
7. Ibu **Novri Tanti, S.T., M.T.** selaku dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan banyak masukan dan motivasi dalam kegiatan akademik.
8. Seluruh Dosen Pengajar Jurusan Teknik Mesin yang banyak memberikan ilmu selama penulis melaksanakan studi, baik berupa materi perkuliahan maupun tauladan dan motivasi sehingga dapat kami jadikan bekal untuk terjun ke tengah-tengah masyarakat.
9. Rekan-rekan **Teknik Mesin angkatan 2010**, terkhususkan kepada **Hendy Ngaku Hensom, Riski Marinir, Robertus Diancur Widiamoko, Mario Mbul Salimor, Lilik ST, Singgih Pikolo** dan **Dian Silent Attack** yang telah membantu dan memberi semangat dalam penyelesaian masa studi penulis.
10. Semua pihak yang tidak mungkin penulis sebutkan namanya satu per satu, yang telah ikut serta membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

Semoga kebaikan, kemurahan hati dan bantuan yang telah diberikan semua pihak mendapat balasan yang setimpal dari Allah SWT dan semoga hari – hari kita selalu indah dan menjadi lebih baik lagi.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak lepas dari kesalahan dan jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu saran dan kritik yang membangun penulis harapkan demi perbaikan dimasa yang akan datang. Akhirnya, semoga skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi kita semua.

Bandar Lampung, Februari 2018  
Penulis,

**Nanjar Febriyanto**

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>DAFTAR ISI</b> .....	i
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	v
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vi
<b>I. PENDAHULUAN</b> .....	1
A. Latar belakang .....	1
B. Tujuan .....	4
C. Batasan masalah .....	4
D. Sistematika penulisan .....	4
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	6
A. Pengelasan .....	6
B. Jenis – jenis Pengelasan .....	7
1. Las busur listrik .....	7
2. Las oksasi asetilen ( <i>Oxyacetylene Welding</i> ) .....	8
3. Las Busur Tungsten Gas Mulia ( <i>Gas Tungsten Arc Welding</i> ) ..	9
4. Las Busur Logam Gas ( <i>Gas Metal Arc Welding</i> ) .....	10
5. Las Busur Elektroda Terbungkus .....	10
6. Las Busur Rendam ( <i>Submerged Arc Welding/ SAW</i> ) .....	11

7. Las Terak Listrik ( <i>Electroslag Welding</i> ) .....	11
8. Pengelasan Gesek ( <i>Friction Welding</i> ) .....	11
C. <i>Friction Stir Welding</i> .....	13
1. Prinsip <i>Friction Stir Welding</i> .....	14
2. Proses Pengelasan .....	15
3. Rotasi <i>Tool</i> dan Kecepatan Melintang .....	16
4. Tekanan <i>Tool</i> dan <i>Plunge Depth</i> .....	17
5. Rancangan <i>Tool</i> .....	17
6. Mekanisme <i>Friction Stir Welding</i> .....	22
7. Parameter Pengelasan .....	22
a. Kecepatan Rotasi (rpm) .....	22
b. Kecepatan Pengelasan (mm/s) .....	23
c. Kekuatan Aksial (KN) .....	23
d. Alat Geometri .....	23
D. Aluminium .....	24
1. Klasifikasi Aluminium .....	25
2. Sifat – sifat Aluminium .....	26
a. Kekuatan tarik .....	26
b. Kekerasan .....	27
c. <i>Ductility</i> (Kelenturan) .....	27
d. <i>Recyclability</i> (Daya untuk di daur ulang) .....	28
3. Seri aluminium dan jenis-jenis aluminium .....	28
a. Jenis Al-murni teknik (seri 1000) .....	29
b. Jenis paduan Al-Cu (Seri 2000) .....	29

c. Jenis Paduan Al-Mn (seri 3000) .....	30
d. Jenis Paduan Al-Si (Seri 4000) .....	30
e. Paduan jenis Al-Mg (Seri 5000) .....	30
f. Paduan jenis Al-Mg-Si (seri 6000) .....	31
g. Paduan jenis Al-Zn (seri 7000) .....	31
E. Alumunium 5083 .....	31
F. Kekerasan <i>Rockwell</i> .....	33
G. Kekuatan Tarik .....	38
H. Baja .....	40
1. Baja Karbon Rendah ( <i>low carbon steel</i> ) .....	41
2. Baja Karbon Menengah ( <i>medium carbon steel</i> ) .....	41
3. Baja Karbon Tinggi ( <i>high carbon steel</i> ) .....	41
I. Pahat .....	43
1. HSS ( <i>High Speed Steel</i> ) .....	43
a. Carbon (C) .....	44
b. Tungsten (T) atau <i>Wolfram</i> (W) .....	44
c. <i>Chromium</i> (Cr) .....	44
d. <i>Vanadium</i> (V) .....	44
e. <i>Molydenum</i> (Mo) .....	44
f. <i>Cobalt</i> (Co) .....	45
g. Silikon .....	45
2. Pahat Karbida .....	46
a. Karbida Tungsten .....	46
b. Karbida Tungsten Paduan .....	46

c. Karbida Lapis .....	46
3. Pahat Karbida Tungsten .....	46
<b>III. METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>47</b>
A. Tempat penelitian .....	47
B. Alur Penelitian .....	48
C. Bahan dan Alat .....	49
D. Pelaksanaan Penelitian .....	57
E. Pengujian .....	58
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>60</b>
A. Hasil pengujian tarik .....	60
1. Tegangan Akhir ( <i>Ultimate Stress</i> ) .....	61
B. Karakteristik Patahan .....	63
<b>V. SIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>65</b>
A. Simpulan .....	65
B. Saran .....	66

## **DAFTAR PUSTAKA**

## **LAMPIRAN**

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1. Proses Pengelasan . . . . .	15
Tabel 2.2. <i>Standard Aluminium Association (AA)</i> . . . . .	29
Tabel 2.3. Skala Kekerasan <i>Rockwell</i> dan Huruf Depan . . . . .	36
Tabel 3.1. Rencana Kegiatan Penelitian . . . . .	47
Tabel 3.2. Spesifikasi Aluminium 5083 . . . . .	50
Tabel 3.3. Spesifikasi Mesin <i>Milling</i> . . . . .	54
Tabel 3.4. Spesifikasi Mesin <i>Frais</i> . . . . .	55
Tabel 3.5. Spesifikasi Mesin Uji Tarik . . . . .	56
Tabel 3.6. Data Uji Tarik . . . . .	59
Tabel 4.1. Tabel Hasil Pengujian Tarik . . . . .	60

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Nyala Pada Ujung Pembakar .....	8
Gambar 2.2. Nyala Api Netral .....	9
Gambar 2.3. Nyala Api Oksidasi .....	9
Gambar 2.4. <i>Friction Welding</i> .....	12
Gambar 2.5. Prinsip <i>Friction Stir Welding</i> .....	14
Gambar 2.6. Gerakan <i>Tool</i> .....	16
Gambar 2.7. Rancangan <i>Tool</i> .....	18
Gambar 2.8. Berbagai Type <i>Tool/ Pin</i> .....	21
Gambar 2.9. Mekanisme <i>Friction Stir Welding</i> .....	22
Gambar 2.10. Diagram Fasa Al-Mg-Si .....	32
Gambar 2.11. Cara Kerja Mesin Kekerasan <i>Rockwell</i> .....	34
Gambar 2.12. Media Penguji <i>Rockwell</i> .....	35
Gambar 2.13. Kurva Tegangan Regangan .....	39
Gambar 3.1. <i>Flowchart</i> Penelitian .....	48
Gambar 3.2. Aluminium Paduan .....	50
Gambar 3.3. Pahat HSS ( <i>High Speed Steel</i> ) .....	51

Gambar 3.4. Kamera SLR .....	52
Gambar 3.3. Mesin <i>Milling</i> .....	53
Gambar 3.6. <i>Mesin Frais</i> .....	55
Gambar 3.7. Mesin Uji Tarik .....	56
Gambar 3.8. Spesimen Uji Tarik Standar JIS 2201-1999 .....	57
Gambar 4.1. Grafik <i>Ultimate Stress</i> .....	63
Gambar 4.2. Karakteristik Patahan Hasil Pengelasan .....	64

## I. PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Aluminium dan paduan aluminium termasuk logam ringan yang memiliki kekuatan tinggi, tahan terhadap karat, konduktor listrik yang cukup baik dan aluminium lebih ringan daripada besi atau baja. Penggunaan aluminium khususnya tipe AA 1100 merupakan bagian yang tak terpisahkan dari pertumbuhan industri, karena memegang peranan utama dalam rekayasa dan reparasi produksi. Jenis ini seringkali banyak digunakan untuk *heat exchangers*, *pressure vessels* pipa, dan lain-lain (Purwaningrum dan Setyanto, 2011)

Namun demikian, aluminium dan paduan aluminium mempunyai sifat yang kurang baik bila dibandingkan dengan baja, diantaranya adalah mempunyai panas jenis dan daya hantar yang tinggi, mudah teroksidasi dan membentuk oksida aluminium berupa  $Al_2O_3$  yang mempunyai titik cair yang tinggi.

Dengan demikian mengakibatkan peleburan antara logam dasar dan logam las menjadi terhalang dan bila mengalami proses pembekuan yang terlalu cepat akan terbentuk rongga halus bekas kantong *hydrogen* (Mahardi dan Wiryosumarto, 2011)

Saat ini aluminium sering digunakan dalam proses membuat kendaraan seperti mobil, pesawat terbang, dan kapal laut. Sehingga untuk menyatukan aluminium perlu suatu proses pengelasan, yang mana bila dibandingkan dengan teknik penyambungan yang lain, penyambungan menggunakan teknik las lebih banyak digunakan. Hal ini dikarenakan penyambungan dengan las dapat dilakukan secara mudah dengan mencairkan terlebih dahulu sebelum dilakukan penyambungan (Harsono, 2002)

Pada umumnya pengelasan aluminium menggunakan proses *fusion welding* seperti MIG (*Metal Inert Gas*) maupun TIG, namun pada kedua metode tersebut terdapat kemungkinan terbentuknya cacat berupa porositas, retak (*crack*) dan rawan terjadi deformasi selama proses pendinginan dan pembentukan logam las. Selain itu terdapat juga kekurangan pada proses TIG dan MIG, yaitu terdapat asap yang berbahaya bagi kesehatan. Sehingga untuk mengatasi kekurangan proses TIG dan MIG pada pengelasan aluminium, digunakan alternatif lain yaitu dengan metode *Friction Stir Welding*. *Friction Stir Welding* adalah suatu metode pengelasan baru yang dapat menjadi solusi untuk masalah tersebut, karena hasil pengelasan menggunakan metode *Friction Stir Welding* memiliki daerah TMAZ (*thermomechanically affected zone*) yang lebih kecil sehingga cacat serta kerusakan dan kerugian dapat dikurangi (Leonard, 2003)

Seiring dengan sifat- sifat aluminium yang mudah bereaksi maka perlu dilakukan penelitian-penelitian agar proses penyambungan paduan aluminium menjadi lebih mudah dan memiliki kekuatan yang optimal.

Salah satu proses penyambungan paduan aluminium dilakukan dengan cara pengelasan *Friction Stir Welding* (FSW). Proses pengelasan *Friction Stir Welding* adalah memanfaatkan gesekan dari mata pahat yang berputar dan benda kerja lain yang diam sehingga mampu melelehkan benda kerja yang diam tersebut dan akhirnya tersambung menjadi satu. Metode pengelasan FSW melakukan penggabungan dalam keadaan padat (*Solid State Joining*) dan telah dikembangkan untuk proses pengelasan, terutama untuk pengelasan aluminium paduan (Nandan et al, 2009)

Penelitian yang erat kaitannya dengan *Friction Stir Welding* telah banyak dilakukan, diantaranya perubahan sifat mekanik aluminium *alloy* AW6082-T6 yang telah dilas dengan metode *Friction Stir Welding* terjadi ketika ada perubahan parameter, yaitu kecepatan putaran mesin dan *feed rate* (kecepatan pemakanan) (Juwanda, 2004)

Yasui., 2006, meneliti tentang sambungan aluminium paduan AL 3102 yang disambung dengan metode FSW dengan bermacam variasi kecepatan *tool* dan *feed rate*. Dalam penelitiannya diperoleh bahwa terjadi perubahan struktur makro pada daerah sambungan las pada putaran *tool* 1800 rpm dengan *feed rate* 84 mm/ detik struktur terlalu halus, sehingga rawan retak pada daerah sambungan las. Untuk putaran *tool* 1000 rpm dengan *feed rate* 28 mm/ detik terlihat struktur lebih kasar, sehingga memungkinkan sambungan las terlepas, oleh karena itu disarankan menggunakan putaran *tool* sebesar 1200 rpm dengan *feed rate* 54 mm/ detik agar strukturnya menjadi rata (halus) dan permukaan tidak rusak (*Destroyed*), sehingga sambungan menjadi kuat dan terhindar dari retak (*crack*).

Oleh karena itu, perlu dilakukan kajian tentang kekuatan tarik sambungan aluminium yang dilas menggunakan metode FSW. Agar didapat struktur yang kuat maka dilakukan pada kecepatan putar dan gerak makan yang lebih tinggi.

## **B. Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisa sambungan plat aluminium 5083 dengan menggunakan metode *Friction Stir Welding*.
2. Mengetahui kekuatan tarik hasil lasan aluminium 5083.
3. Mengetahui karakteristik patahan pada lasan aluminium 5083.

## **C. Batasan Masalah**

Dalam pelaksanaan penelitian ini, penulis membatasi masalah yang diangkat yaitu untuk mengetahui kekuatan sambungan lasan 5083 dengan metode *Friction Stir Welding*.

## **D. Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan yang digunakan oleh penulis dalam menyusun laporan adalah sebagai berikut:

Bab I Pendahuluan, Berisikan tentang latar belakang masalah yang diambil, tujuan, batasan masalah dan sistematika penulisan dari penelitian ini.

Bab II Tinjauan Pustaka, Berisikan tentang teori- teori yang berhubungan dan mendukung pembahasan tentang *Friction Stir Welding* dan kekuatan sambungan lasan menggunakan aluminium paduan 5083.

Bab III Metodologi, Berisikan tentang metode- metode penulis dalam melakukan pengumpulan informasi, tempat, waktu penelitian dan menerangkan tentang alur penelitian.

Bab IV Hasil dan Pembahasan, Berisikan tentang data pengamatan yang di peroleh, hasil perhitungan dan pembahasan tentang kekuatan sambungan lasan Aluminium 5083 dengan metode *Friction Stir Welding*.

Bab V Kesimpulan dan Saran, Berisikan simpulan yang diambil dari hasil perhitungan dan pembahasan masalah serta saran-saran yang ingin disampaikan dari penelitian ini.

## **Daftar Pustaka**

## **Lampiran**

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Pengelasan

Pengelasan merupakan salah satu jenis proses penyambungan logam, penyambungan yang lain seperti baut dan keling. Berbeda antara keduanya bahwa pengelasan membutuhkan perhatian yang khusus diantaranya adalah jenis pengelasan, klasifikasi pengelasan, dan karakteristiknya. Menurut *Deutsche Industrie Normen* (DIN), las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan cair. Dari definisi tersebut dapat dijelaskan lebih lanjut bahwa las adalah suatu proses dimana bahan dengan jenis yang sama digabungkan menjadi satu sehingga terbentuk suatu sambungan melalui ikatan kimia yang dihasilkan dari pemakaian panas dan tekanan. Bila dibandingkan dengan teknik penyambungan yang lain, penyambungan dengan menggunakan teknik las lebih banyak digunakan. Hal ini dikarenakan penyambungan dengan las dilakukan secara mudah dengan mencairkan terlebih dahulu sebelum dilakukan penyambungan (Wiryo Sumarto, 2000)

## **B. Jenis-Jenis Pengelasan**

### **1. Las Busur Listrik**

Las busur listrik adalah cara pengelasan dengan mempergunakan busur nyala listrik sebagai sumber panas pencair logam. Klasifikasi las busur listrik yang digunakan hingga saat ini dalam proses pengelasan adalah las elektroda terbungkus (Robert, 2012)

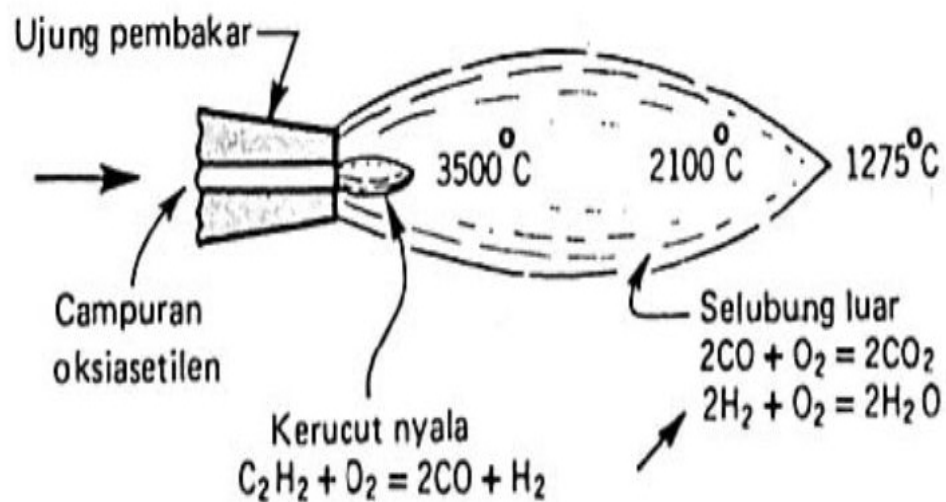
Prinsip pengelasan las busur listrik yaitu arus listrik yang cukup padat dan tegangan rendah bila dialirkan pada dua buah logam yang konduktif akan menghasilkan loncatan elektroda yang dapat menimbulkan panas yang sangat tinggi mencapai suhu  $5000^{\circ}\text{C}$  sehingga dapat mudah mencair kedua logam tersebut (Smallman, 2000). Proses pemindahan logam cair seperti dijelaskan diatas sangat mempengaruhi sifat maupun las dari logam, dapat dikatakan bahwa butiran logam cair yang halus mempunyai sifat mampu las yang baik. Sedangkan proses pemindahan cairan sangat dipengaruhi oleh besar kecilnya arus dan komposisi dari bahan fluks yang digunakan ( Hendra dan Sabudin, 2009)

Selama proses pengelasan fluks yang digunakan untuk membungkus elektroda sebagai zat pelindung yang sewaktu pengelasan ikut mencair. Tetapi karena berat jenisnya lebih ringan dari bahan logam yang dicairkan, maka cairan fluks tersebut mengapung diatas cairan logam dan membentuk terak sebagai penghalang oksidasi. Dalam berapa fluks bahan tidak terbakar, tetapi berubah menjadi gas pelindung dari logam cair terhadap oksidasi (Supriyadi, 2008)

Pengelasan adalah suatu proses dimana bahan dengan jenis yang sama digabungkan menjadi satu sehingga terbentuk suatu sambungan melalui ikatan kimia yang dihasilkan dan pemakaian panas dan tekanan. Salah satu proses yang paling banyak digunakan pada sambungan struktur adalah las cair (*Fusion Welding*) (Odi dan Prasetya, 2007)

Las cair ini dapat diklasifikasikan berdasarkan sumber panas yang digunakan menjadi 3 kelompok yaitu las gas (*Gas Welding*), las busur (*Arc Welding*) dan las sinar energi tinggi (*High Energy Beam Welding*) (Suhermanto, 2001)

## 2. Las Oksi Asetilen (*Oxyacetylene Welding*)



Gambar 2.1. Nyala netral dan suhu yang dicapai pada ujung pembakar

(Sumber: Hadi Eko, 2011)

## a. Netral



Gambar 2.2. Nyala Api Netral (Sumber: Thosie Okumura, 2000)

## b. Oksidasi



Gambar 2.3. Nyala Api Oksidasi (Sumber: Suhendra, 2004)

Jika terlalu banyak oksigen terjadi pembakaran tak sempurna. Nyala ini biasanya digunakan unsur-unsur yang mudah menguap waktu pengelasan seperti *zinc* atau kuningan (paduan Cu-Zn) melalui pembentukan lapisan oksida (Cavaliere et al, 2006)

### 3. Las Busur Tungsten Gas Mulia (*Gas Tungsten Arc Welding/ GTAW*)

Proses pengelasan di mana sumber panas berasal dari loncatan busur listrik antara elektroda terbuat dari *wolfram/ tungsten* dan logam yang dilas. Pada pengelasan ini logam induk (logam asal yang akan disambung dengan metode pengelasan biasanya disebut dengan istilah logam induk) tidak ikut terumpan (*Non Consumable Electrode*).

Untuk melindungi elektroda dan daerah las digunakan gas mulia (*argon* atau *helium*). Sumber arus yang digunakan bisa AC (arus bolak-balik) maupun DC (arus searah).

#### 4. Las Busur Logam Gas (*Gas Metal Arc Welding*)

Proses pengelasan di mana sumber panas berasal dari busur listrik antara elektroda yang sekaligus berfungsi sebagai logam yang terumpan (*filler*) dan logam yang dilas. Las ini disebut juga metal inert gas (MIG) karena menggunakan gas mulia seperti *argon* dan *helium* sebagai pelindung busur dan logam cair.

#### 5. Las Busur Elektroda Terbungkus (*Shielded Metal Arc Welding/ SMAW*)

Proses pengelasan di mana panas dihasilkan dari busur listrik antara ujung elektroda dengan logam yang dilas. Elektroda terdiri dari kawat logam sebagai penghantar arus listrik ke busur dan sekaligus sebagai bahan pengisi (*filler*), kawat ini dibungkus dengan bahan fluks. Biasanya dipakai arus listrik yang tinggi (10-500 A) dan potensial yang rendah (10-50 V). Selama pengelasan, fluks mencair dan membentuk terak (*slag*) yang berfungsi sebagai lapisan pelindung logam las terhadap udara sekitarnya. Fluks juga menghasilkan gas yang bisa melindungi butiran-butiran logam cair yang berasal dari ujung elektroda yang mencair dan jatuh ke tempat sambungan (Iskandar, 2003)

#### 6. Las Busur Rendam (*Submerged Arc Welding/ SAW*)

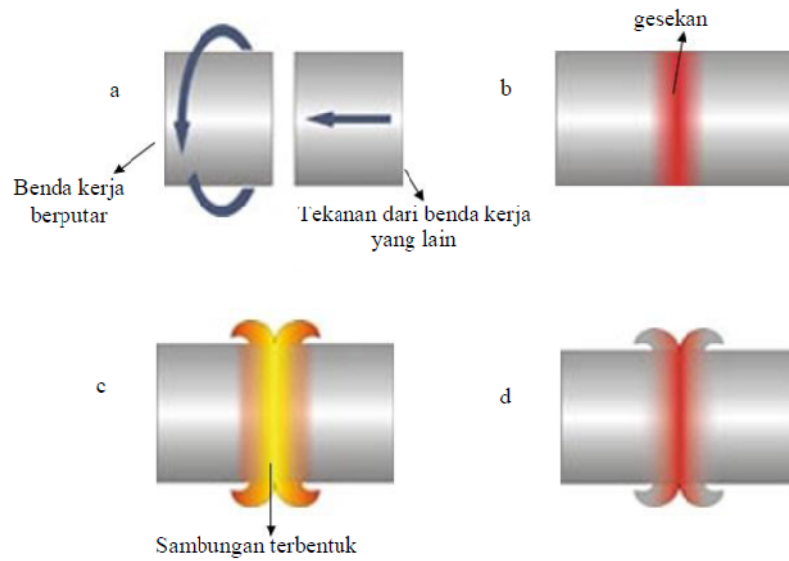
Proses pengelasan di mana busur listrik dan logam cair tertutup oleh lapisan serbuk fluks sedangkan kawat pengisi (*filler*) diumpankan secara kontinyu. Pengelasan ini dilakukan secara otomatis dengan arus listrik antara 500-2000 *Ampere* (Handoko, 2008)

#### 7. Las Terak Listrik (*Electroslag Welding*)

Proses pengelasan di mana energi panas untuk melelehkan logam dasar (*base metal*) dan logam pengisi (*filler*) berasal dari terak yang berfungsi sebagai tahanan listrik ( $I^2Rt$ ) ketika terak tersebut dialiri arus listrik. Pada awal pengelasan, fluks dipanasi oleh busur listrik yang mengenai dasar sambungannya. Kemudian logam las terbentuk pada arah vertikal sebagai hasil dari campuran antara bagian sisi dari logam induk dengan logam pengisi (*filler*) cair (Sugi dan Suseno, 2006). Proses pencampuran ini berlangsung sepanjang alur sambungan las yang dibatasi oleh plat yang didinginkan dengan air.

#### 8. Pengelasan Gesek (*Friction Welding*)

*Friction Welding* merupakan proses penyambungan logam dengan memanfaatkan energi panas yang diakibatkan oleh gesekan antara dua material. Bila dibandingkan dengan proses penyambungan diatas, *Friction Welding* memiliki kelebihan dan kekurangan.



Gambar 2.4. *Friction Welding* (Sumber: Fadillah, 2006)

Adapun kelebihanannya adalah sebagai berikut (Messler, 1999):

- a. Kebersihan permukaan sambungan tidak diperlukan, karena selama proses *friction* permukaan akan terkelupas dan terdeformasi kebagian luar.
- b. Tidak memerlukan logam pengisi, pelindung fluks dan gas pelindung selama proses.
- c. Tidak terdapat cacat akibat fenomena pencairan dan pembekuan.
- d. Dimungkinkan untuk menyambung dua material logam yang berbeda.
- e. Ongkos pengerjaan lebih ringan.

Namun *Friction Welding* memiliki kekurangan, yaitu:

- a. Benda yang disambung harus simetris.
- b. Proses umumnya terbatas pada permukaan plat dan bentuk batang bulat.
- c. Salah satu material yang disambung harus memiliki sifat mampu dideformasi secara plastis.

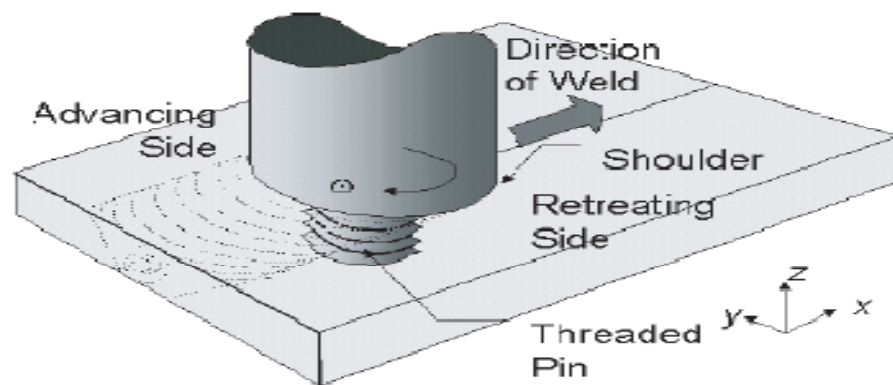
### C. *Friction Stir Welding (FSW)*

FSW (*Friction Stir Welding*) merupakan sebuah metode pengelasan yang telah ditemukan dan dikembangkan oleh Wayne Thomas untuk benda kerja *aluminium* dan *aluminium alloy* pada tahun 1991 di TWI (*The Welding Institute*) Amerika Serikat. FSW (*Friction Stir Welding*) adalah sebuah metode pengelasan yang termasuk pengelasan gesek, yang pada prosesnya tidak memerlukan bahan penambah atau pengisi. Panas yang digunakan untuk mencairkan logam kerja dihasilkan dari gesekan antara benda yang berputar (*pin*) dengan benda yang diam (benda kerja). *Pin* berputar dengan kecepatan konstan disentuh ke material kerja yang telah dicekam. Gesekan antara kedua benda tersebut menimbulkan panas sampai  $\pm 80\%$  dari titik cair material kerja dan selanjutnya *pin* ditekan dan ditarik searah daerah yang akan dilas. Putaran dari *pin* bisa searah jarum jam atau berlawanan dengan arah jarum jam. *Pin* yang digunakan pada pengelasan *Friction Stir Welding* harus mempunyai titik cair dan kekerasan yang lebih dibandingkan dengan material kerja, sehingga hasil pengelasan baik (Angger, 2012)

Pengelasan dengan menggunakan metode FSW bisa digunakan untuk menyambungkan material yang sama (*similar metal*) ataupun material yang tidak sama (*dissimilar metal*) seperti baja dengan baja tahan karat, aluminium dengan kuningan dan memungkinkan untuk mengelas kombinasi material lain yang tidak dapat di las dengan menggunakan metode pengelasan yang lain. Parameter pengelasan yang dilakukan harus disesuaikan sedemikian rupa, sehingga pengurangan volume dari *pin* ketika terjadi gesekan dengan material kerja bisa diperkecil.

Hal ini bertujuan untuk menjaga masukan panas yang konstan sepanjang pengelasan. Hal - hal yang perlu diperhatikan dalam proses pengelasan ini akan dijelaskan lebih lanjut di bawah ini.

### 1. Prinsip *Friction Stir Welding*





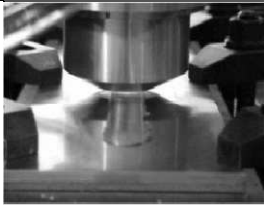
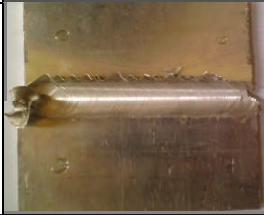
Gambar 2.5. Prinsip *Friction Stir Welding* (Sumber: Thakasima, 2002)

Prinsip *Friction Stir Welding* yang ditunjukkan pada Gambar 2.5, dengan gesekan dua benda yang terus-menerus akan menghasilkan panas, ini menjadi suatu prinsip dasar terciptanya suatu proses pengelasan gesek. Pada proses *Friction Stir Welding*, sebuah *tool* yang berputar ditekan pada material yang akan disatukan. Gesekan *tool* yang berbentuk silindris (*Cylindrical Shoulder*) yang dilengkapi *pin/ probe* dengan material mengakibatkan pemanasan setempat yang mampu melunakkan bagian tersebut. *Tool* bergerak pada kecepatan tetap dan bergerak melintang pada jalur pengelasan (*joint line*) dari material yang akan di satukan, oleh karena itu pada saat pengelasan kita harus benar- benar memperhatikan *tool geometry*, parameter proses, temperatur dan benda kerja yang digunakan.

Agar pada daerah pengaruh panas (HAZ) tidak terjadi perubahan sifat mekanik yang drastis dibanding logam induknya, namun pada daerah HAZ pasti struktur makronya akan berbeda dibanding logam induknya, hal ini karena panas yang terjadi pada saat pengelasan (Taban, 2007)

## 2. Proses pengelasan

Tabel 2.1. Proses Pengelasan (Sumber: Sudrajat, 2005)

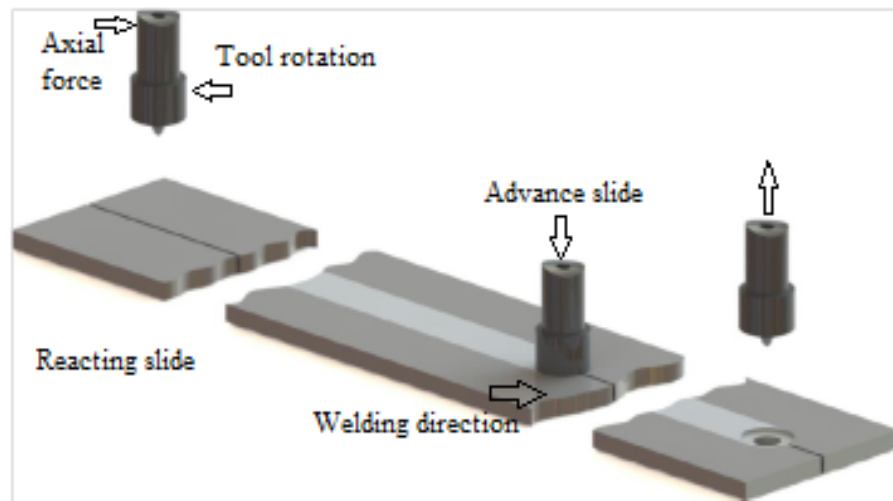
No Step	Gambar	Keterangan
1.		1. Benda kerja dicekam dimeja kerja 2. <i>Probe</i> berputar dan digesekan ke benda kerja
2.		1. Benda kerja mulai mencair
3.		1. <i>Probe</i> ditarik melintang searah daerah yang dilas
4.		1. Hasil las

Proses pengelasan terdapat beberapa tahapan seperti tabel 2.1, mulanya benda kerja dicekam pada kedua sisinya lalu *shoulder* atau *tool* berputar dan digesekan ke benda kerja secara terus menerus.

Hal ini akan menghasilkan panas dan membuat benda kerja secara perlahan mulai mencair, dan selama proses pengelasan *probe* (bahu) ditarik melintang searah daerah yang akan dilas (Wardoyo, 2004)

### 3. Rotasi *Tool* dan Kecepatan Melintang

Ada dua kecepatan alat yang harus diperhitungkan dalam pengelasan ini yaitu seberapa cepat *tool* itu berputar dan seberapa cepat *tool* itu melintasi jalur pengelasan (*joint line*). Gerakan *tool* ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6. Gerakan *Tool* (Sumber: Rajakumar, 2010)

Kedua parameter ini harus ditentukan secara cermat untuk memastikan proses pengelasan yang efisien dan hasil yang memuaskan. Hubungan antara kecepatan pengelasan dan *input* panas selama proses pengelasan sangat kompleks, tetapi umumnya dapat dikatakan bahwa meningkatnya kecepatan rotasi dan berkurangnya kecepatan melintas akan mengakibatkan titik las lebih panas. Jika material tidak cukup panas maka arus pelunakan tidak akan optimal sehingga dimungkinkan akan terjadi cacat rongga atau cacat lain pada *stir zone*, dan kemungkinan *tool* akan rusak.

Tetapi input panas yang terlalu tinggi akan merugikan sifat akhir lasan karena perubahan karakteristik logam dasar material (Sunaryo, 2003)

Oleh sebab itu dalam menentukan benar-benar cermat, input panas harus cukup tinggi untuk menjamin plastisitas material serta untuk mencegah timbulnya sifat-sifat las yang merugikan.

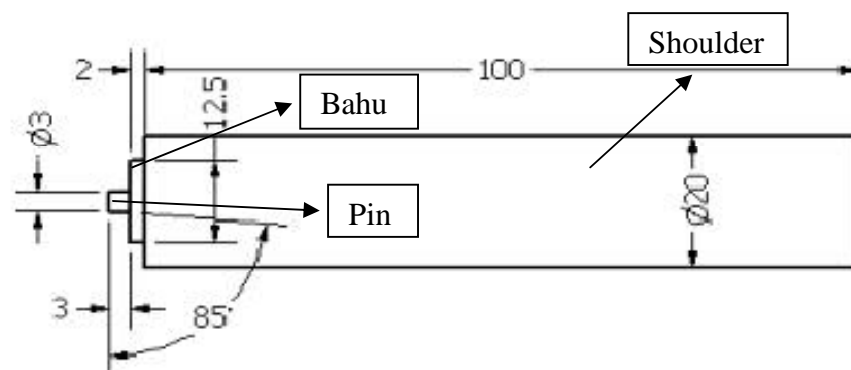
#### 4. Tekanan *Tool* dan *Plunge Depth*

*Plunge depth* didefinisikan sebagai kedalaman titik terendah *probe* di bawah permukaan material yang dilas dan telah diketahui sebagai parameter kritis yang menjamin kualitas lasan. *Plunge depth* perlu diatur dengan baik untuk menjamin tekanan ke bawah tercapai, dan memastikan *tool* penuh menembus lasan. *Plunge depth* yang dangkal dapat mengakibatkan cacat dalam lasan, sebaliknya *plunge depth* yang berlebihan bisa mengakibatkan kerusakan pin karena berinteraksi dengan alasnya. Tekanan *shoulder* diharapkan untuk menjaga material lunak tidak keluar jalur dan memberi efek tempa (*forging*). Material panas ditekan dari atas oleh *shoulder* dan ditahan oleh alas dari bawah. Proses ini bertujuan untuk mamadatkan material sehingga penguatan sambungan terjadi akibat efek tempa tersebut. Selain itu tekanan *shoulder* juga menghasilkan *input* panas tambahan karena permukaannya yang lebih besar bergesekan dengan material (Wahyudi, 2006)

#### 5. Rancangan *Tool*

Rancangan *tool* adalah faktor yang sangat mempengaruhi kualitas hasil lasan, karena rancangan *tool* yang tepat dapat meningkatkan kualitas las dan kecepatan las semaksimal mungkin.

Panas yang dihasilkan dari gesekan *tool* dan material yang akan dilas sekitar 70-80% dari temperatur titik lebur material yang akan dilas tersebut. Material *tool* harus memiliki titik cair yang lebih tinggi dari material las, agar ketika proses pengelasan berlangsung material *tool* tidak ikut tercampur dengan lasan. Material *tool* harus mempunyai kekuatan yang cukup pada temperatur ini karena jika tidak maka *tool* dapat terpuntir dan retak. Oleh sebab itu diharapkan material *tool* cukup kuat, keras dan liat pada suhu pengelasan. Sebaiknya material yang digunakan juga mempunyai ketahanan oksida yang baik dan penghantar panas rendah untuk mengurangi kerugian panas dan kerusakan termal pada mesin. Adapun rancangan *tool* nya seperti dibawah ini:



Gambar 2.7. Rancangan *Tool* (Sumber: Kusworo, 2009)

Bahan perkakas las yang digunakan tergantung kepada logam yang akan disambung. Perkakas las berbahan seperti baja kecepatan tinggi (HSS), baja perkakas H13 dan D3 digunakan untuk menyambung logam aluminium, magnesium dan *cooper*. Sedangkan paduan tungsten seperti tungsten karbida (WC), tungsten *rehenium* (W-25%Re) dan *polycrystal cubic boron nitrate* (PCBN) digunakan untuk menyambung logam yang lebih keras seperti baja, nikel dan titanium (Florenz, 1992)

Desain *tool* terdiri dari *shoulder* dan *pin*. *Pin* berfungsi untuk menghasilkan panas dan menggerakkan material yang sedang dilas.

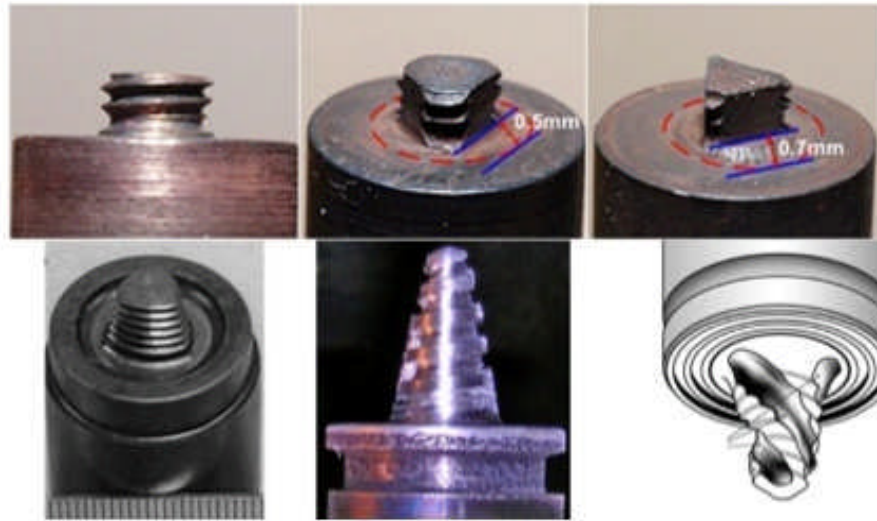
*Shoulder* memiliki beberapa fungsi antara lain:

- a. Sebagai pelindung dari kemungkinan masuknya suatu material berbeda.
- b. *Shoulder* yang berdiameter lebih besar, berperan untuk mempertahankan dan menjaga agar material *plasticised* tidak keluar dari daerah las.
- c. *Shoulder* memberi tekanan ke bawah yang memberi efek tempa pada lasan.

*Shoulder* juga menyediakan *input* panas tambahan, karena luas permukaan yang bergesekan dengan material las lebih besar maka panas yang dihasilkan juga lebih besar. Gesekan *tool* yang berbentuk silindris (*cylindrical-shoulder*) yang dilengkapi *pin/ probe* dengan material, mengakibatkan pemanasan setempat yang mampu melunakan bagian tersebut. *Tool* bergerak pada kecepatan tetap (parameter 1) dan bergerak melintang (parameter 2) pada jalur pengelasan (*joint line*) dari material yang akan di satukan. Pengelasan yang dilakukan harus disesuaikan sedemikian rupa, sehingga pengurangan volume dari *pin* ketika terjadi gesekan dengan material kerja bisa diperkecil. Hal ini bertujuan untuk menjaga masukan panas yang konstan sepanjang pengelasan (Supardi dan Hasbuna, 2003)

Gesekan *tool* yang berbentuk silindris (*Cylindrical- Shoulder*) yang dilengkapi *pin/ probe* dengan material, mengakibatkan pemanasan setempat yang mampu melunakan bagian tersebut. *Tool* bergerak pada kecepatan tetap (parameter 1) dan bergerak melintang (parameter 2) pada jalur pengelasan (*joint line*) dari material yang akan di satukan. Pengelasan yang dilakukan harus disesuaikan sedemikian rupa, sehingga pengurangan volume dari *pin* ketika terjadi gesekan dengan material kerja bisa diperkecil. Hal ini bertujuan untuk menjaga masukan panas yang konstan sepanjang pengelasan (Wijayanto, 2010)

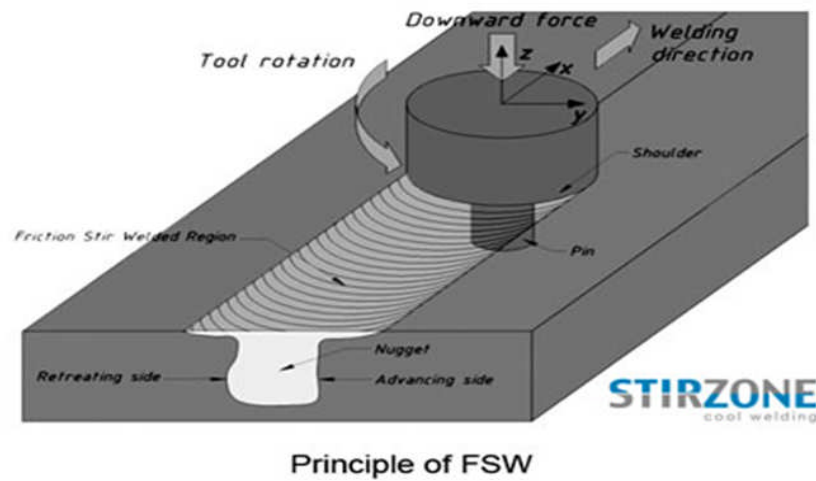
Ada dua kecepatan alat yang harus diperhitungkan dalam pengelasan ini yaitu seberapa cepat *tool* itu berputar dan seberapa cepat *tool* itu melintasi jalur pengelasan (*joint line*). Gerakan *tool* ditunjukkan pada Gambar 2.6. Kedua parameter ini harus ditentukan secara cermat untuk memastikan proses pengelasan yang efisien dan hasil yang memuaskan. Tetapi input panas yang terlalu tinggi akan merugikan sifat akhir lasan karena perubahan karakteristik logam dasar material. Oleh sebab itu dalam menentukan parameter harus benar-benar cermat, input panas harus cukup tinggi tetapi tidak terlalu tinggi untuk menjamin plastisitas material serta untuk mencegah timbulnya sifat-sifat las yang merugikan (Wahdorillah, 2007) Selain itu ada beberapa bentuk *pin* pada *tool* yang selama ini dikembangkan untuk aplikasi FSW.



Gambar 2.8. Berbagai tipe *tool/pin* (Sumber: Abraham, 2003)

Bentuk pin mempengaruhi aliran bahan plastis dan mempengaruhi sifat lasan. Sementara *tool shoulder* memfasilitasi aliran bahan bongkahan, *pin* membantu aliran bahan lapis demi lapis. *Pin* berbentuk *triflute* meningkatkan aliran bahan dibanding pin silindris. Gaya aksial pada bahan benda kerja dan aliran bahan dekat *tool* dipengaruhi oleh orientasi ulir pada permukaan *pin*. Penelitian lain menunjukkan bahwa lasan bebas cacat dapat diperoleh pada bahan lebih lunak seperti AA1050 dengan *pin* berbentuk *columnar* (tanpa ulir). Sementara *pin* berbentuk prisma triangular lebih sesuai untuk bahan lebih keras seperti AA5083 (Sujadi, 2005)

## 6. Mekanisme *Friction Stir Welding*



Gambar 2.9. Mekanisme *Friction Stir Welding* (Sumber: Ludtka, 2006)

Tekanan *shoulder* diharapkan untuk menjaga material lunak tidak keluar jalur dan memberi efek tempa (*forgin*). Material panas di tekan dari atas oleh *shoulder* dan di tahan oleh alas dari bawah. Proses ini bertujuan untuk memadatkan material sehingga penguatan sambungan terjadi akibat efek tempa tersebut. Selain itu tekanan *shoulder* juga menghasilkan input panas tambahan karena permukaannya yang lebih besar bergesekan dengan material (Sukimin, 2001)

## 7. Parameter Pengelasan

Berikut ini adalah parameter atau batasan-batasan dalam pengelasan *friction stir welding* (FSW), yaitu:

### a. Kecepatan rotasi (rpm)

Kecepatan putaran probe yang tinggi ( $> 10000$  rpm) dapat meningkatkan strain rate dan dapat mempengaruhi proses rekristalisasi.

Putaran yang tinggi menghasilkan temperatur yang tinggi dan tingkat pendinginan yang lambat pada FSW.

b. Kecepatan pengelasan (mm/s)

Kecepatan pengelasan memiliki peranan vital dalam menghasilkan sambungan las yang baik. Kekuatan tarik maksimum dari Al 5052 dapat berkurang secara signifikan apabila kecepatan pengelasan dinaikkan. Dengan kecepatan pengelasan yang rendah akan menghasilkan sambungan dengan kuat tarik yang tinggi. Tetapi jika kecepatan pengelasan terlalu tinggi dari batas yang ditentukan maka akan timbul banyak cacat las.

c. Kekuatan Aksial (KN)

Tekanan *tool* adalah gaya tekan *tool* ke dalam aluminium. Pada tugas akhir ini, gaya tekan ini digantikan dengan *tool depth plunge* (mm) karena pengukuran kekuatan aksial sulit dilakukan dalam penelitian ini.

d. Alat Geometri

- *D/d ratio of tool*

- *Pin length (mm)*

- *Tool shoulder diameter, D (mm)*

- *Pin diameter, d (mm)*

- *Tool inclined angle (degrees)*

#### D. Aluminium

Aluminium adalah golongan dari jenis logam *Non-Ferrous* yang memiliki kelebihan tertentu dibandingkan logam lainnya yang dipergunakan dalam dunia industri, aluminium merupakan logam ringan, mempunyai ketahanan korosi yang baik dan hantaran listrik yang baik dan sifat-sifat baik lainnya sebagai sifat logam, 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 bersama-sama, 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 (Devis, 2003)

Aluminium murni adalah logam yang lunak, tahan lama, ringan, dan dapat ditempa dengan penampilan luar bervariasi antara keperakan hingga abu-abu, tergantung kekasaran permukaannya. Kekuatan tarik Aluminium murni adalah 90 MPa, sedangkan aluminium paduan memiliki kekuatan tarik berkisar hingga 600 MPa. Aluminium memiliki berat sekitar satu pertiga baja, mudah ditekuk, diperlakukan dengan mesin, dicor, ditarik (*drawing*) dan diekstrusi.

Resistansi terhadap korosi terjadi akibat fenomena pasivasi, yaitu terbentuknya lapisan aluminium oksida ketika aluminium terpapar dengan udara bebas. Lapisan aluminium oksida ini mencegah terjadinya oksidasi lebih jauh (Dewa, 2009)

### **1. Klasifikasi Aluminium**

Aluminium diklasifikasikan dalam beberapa jenis golongan tergantung dari proses pencetakannya dan penggunaannya, karena aluminium jenis logam yang memiliki sifat mampu bentuk yang baik, logam aluminium mampu mengganti logam lain seperti baja, tembaga, dan lainnya. Penggunaannya secara volumetrik telah melampaui konsumsi tembaga, timah, timbal, seng secara bersama-sama.

Aluminium merupakan bahan baku yang mudah diperoleh, mempunyai produksi yang unggul, sifat mekanik dan sifat fisik yang menguntungkan dan harga relatif murah. Aluminium merupakan logam ringan karena mempunyai berat jenis yang ringan. Selain itu dalam paduan aluminium juga ditambahkan beberapa paduan yang lain sesuai dengan penggunaan aluminium tersebut, sebagai penambah kekuatan mekaniknya yang sangat mengikat yaitu Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Ni dan lainnya. Dalam meningkatkan sifat mekanik aluminium terutama kekuatan tariknya dilakukan perpaduan dengan unsur Tembaga (Cu), Besi (Fe), Magnesium (Mg), Seng (Zn), Silikon (Si) sesuai dengan *Aluminium Assosiation* paduan Al terdiri dari produk tempa (*wrought*) dan cor (*cast*), Klasifikasi produk tempa (*Wrought*) berdasarkan standar internasional (Devis, 2003)

## 2. Sifat-Sifat Aluminium

Sifat teknik bahan aluminium murni dan aluminium paduan dipengaruhi oleh konsentrasi bahan dan perlakuan yang diberikan terhadap bahan tersebut. Aluminium terkenal sebagai bahan yang tahan terhadap korosi. Hal ini disebabkan oleh fenomena pasivasi, yaitu proses pembentukan lapisan aluminium oksida di permukaan logam aluminium segera setelah logam terpapar oleh udara bebas. Lapisan aluminium oksida ini mencegah terjadinya oksidasi lebih jauh. Namun, pasivasi dapat terjadi lebih lambat jika dipadukan dengan logam yang bersifat lebih katodik, karena dapat mencegah oksidasi aluminium. Adapun sifat-sifat mekanik dari aluminium adalah sebagai berikut:

### a. Kekuatan tarik

Kekuatan tarik adalah besar tegangan yang didapatkan ketika dilakukan pengujian tarik. Kekuatan tarik ditunjukkan oleh nilai tertinggi dari tegangan pada kurva tegangan-regangan hasil pengujian, dan biasanya terjadi ketika terjadinya *necking*. Kekuatan tarik bukanlah ukuran kekuatan yang sebenarnya dapat terjadi di lapangan, namun dapat dijadikan sebagai suatu acuan terhadap kekuatan bahan. Kekuatan tarik pada aluminium murni pada berbagai perlakuan umumnya sangat rendah, yaitu sekitar 90 MPa, sehingga untuk penggunaan yang memerlukan kekuatan tarik yang tinggi, aluminium perlu dipadukan.

Dengan dipadukan dengan logam lain, ditambah dengan berbagai perlakuan termal, aluminium paduan akan memiliki kekuatan tarik hingga 600 Mpa (Dewa, 2009)

b. Kekerasan

Kekerasan gabungan dari berbagai sifat yang terdapat dalam suatu bahan yang mencegah terjadinya suatu deformasi terhadap bahan tersebut. Kekerasan suatu bahan dipengaruhi oleh elastisitas, plastisitas, viskoelastisitas, kekuatan tarik, *ductility* dan sebagainya. Kekerasan dapat diuji dan diukur dengan berbagai metode. Yang paling umum adalah metode *Brinell*, *Vickers*, *Mohs* dan *Rockwell*. Kekerasan bahan aluminium murni sangatlah kecil, yaitu sekitar 20 skala *Brinell*, sehingga dengan sedikit gaya saja dapat mengubah bentuk logam. Untuk kebutuhan aplikasi yang membutuhkan kekerasan, aluminium perlu dipadukan dengan logam lain dan/ atau diberi perlakuan termal atau fisik. Aluminium dengan 4,4% Cu dan diperlakukan *quenching*, lalu disimpan pada temperatur tinggi dapat memiliki tingkat kekerasan *Brinell* sebesar 160.

c. *Ductility* (kelenturan)

*Ductility* didefinisikan sebagai sifat mekanis dari suatu bahan untuk menerangkan seberapa jauh bahan dapat diubah bentuknya secara plastis tanpa terjadinya retakan.

Dalam suatu pengujian tarik, *ductility* ditunjukkan dengan bentuk neckingnya material dengan *ductility* yang tinggi akan mengalami necking yang sangat sempit, sedangkan bahan yang memiliki *ductility* rendah, hampir tidak mengalami necking. Sedangkan dalam hasil pengujian tarik, *ductility* diukur dengan skala yang disebut elongasi. Elongasi adalah seberapa besar pertambahan panjang suatu bahan ketika dilakukan uji kekuatan tarik.

d. *Recyclability* (daya untuk didaur ulang)

Aluminium adalah 100% bahan yang dapat didaur ulang tanpa penurunan dari kualitas awalnya, peleburannya sendiri memerlukan sedikit energi, hanya sekitar 5% dari energi yang diperlukan untuk memproduksi logam utama yang pada awalnya diperlukan dalam proses daur ulang (Melyanto, 2009)

### **3. Seri aluminium dan jenis-jenis aluminium.**

Aluminium dan paduan aluminium termasuk logam ringan yang mempunyai kekuatan tinggi, tahan terhadap karat dan merupakan konduktor listrik yang cukup baik. Logam ini dipakai secara luas dalam bidang kimia, listrik, bangunan, transportasi dan alat-alat penyimpanan. Kemajuan akhir-akhir ini dalam teknik pengelasan busur listrik dengan gas mulia menyebabkan pengelasan aluminium dan paduannya menjadi sederhana dan dapat dipercaya. Paduan Al di klasifikasikan dalam berbagai standar oleh berbagai negara didunia.

Tabel 2.2. *Standard Aluminium Association (AA)*

Seri	Jenis
1xxx	Al Murni
2xxx	Al – Cu
3xxx	Al – Mn
4xxx	Al – Si
5xxx	Al – Mg
6xxx	Al – Mg – Si
7xxx	Al – Zn

(Sumber: Dewa, 2009)

Sebagai contoh paduan Al-Cu dinyatakan dengan angka 2xxx atau 2000, angka pada tempat kedua menyatakan modifikasi paduan. Jika angka kedua dalam penandaan ini menunjukkan nol, hal ini menyatakan paduan yang orisinil. Urutan angka 1 sampai 9 digunakan untuk menunjukkan modifikasi dari paduan orisinil, untuk paduan percobaan diberi penandaan awalan X. Dalam paduan Al perubahan yang berarti dari material disebabkan perlakuan panas, seperti 7075-T6. Berdasarkan unsur-unsur paduan yang dikandungnya, aluminium dibagi menjadi tujuh jenis, yaitu:

a. Jenis Al-murni teknik (seri 1000)

Yaitu aluminium dengan kemurnian antara 99,0% dan 99,9%. Aluminium dalam seri ini disamping sifatnya yang baik dalam tahan karat, konduksi panas dan konduksi listrik juga memiliki sifat yang memuaskan dalam mampu las dan mampu potong (Andora, 2004)

b. Jenis paduan Al-Cu (Seri 2000)

Jenis paduan Al-Cu adalah jenis yang dapat diperlaku-panaskan. Dengan melalui pengerasan endap atau penyepuhan sifat mekanik

paduan ini dapat menyamai sifat dari baja lunak, tetapi daya tahan korosinya rendah bila dibandingkan dengan jenis paduan yang lainnya. Sifat mampu-lasnya juga kurang baik, karena itu paduan jenis ini biasanya digunakan pada konstruksi keling *clan* banyak sekali digunakan dalam konstruksi pesawat terbang seperti *duralumin* (2017) *clansuper duralumin* (2024) (Wahono, 2009)

c. Jenis Paduan Al-Mn (seri 3000)

Paduan ini adalah jenis yang tidak dapat diperlaku-panaskan sehingga kenaikan kekuatannya hanya dapat diusahakan melalui pengerjaan dingin dalam proses pembuatannya. Bila dibandingkan dengan jenis Al-murni paduan ini mempunyai sifat yang sama dalam hal daya tahan korosi, mampu potong dan sifat mampu lasnya.

d. Jenis Paduan Al-Si (Seri 4000)

Paduan Al-Si sangat baik kecairannya dan cocok untuk paduan coran. Paduan ini mempunyai ketahanan korosi yang baik, sangat ringan, koefisien pemuaian yang rendah dan sebagai pengantar panas dan listrik yang baik. Material ini biasa dipakai untuk torak motor dan sebagai *filler* las (setelah dilakukan beberapa perbaikan komposisi).

e. Paduan jenis Al-Mg (Seri 5000)

Jenis ini termasuk paduan yang tidak dapat diperlaku-panaskan, tetapi mempunyai sifat yang baik dalam daya tahan korosi, terutama korosi oleh air laut dan dalam sifat mampu lasnya.

f. Paduan jenis Al-Mg-Si (seri 6000)

Paduan ini termasuk dalam jenis yang dapat diperlaku-panaskan dan mempunyai sifat mampu potong, mampu las dan daya tahan korosi yang cukup. Sifat yang kurang baik dari paduan ini adalah terjadinya pelunakan pada daerah las (Rahmayani, 2008)

g. Paduan jenis Al-Zn (seri 7000)

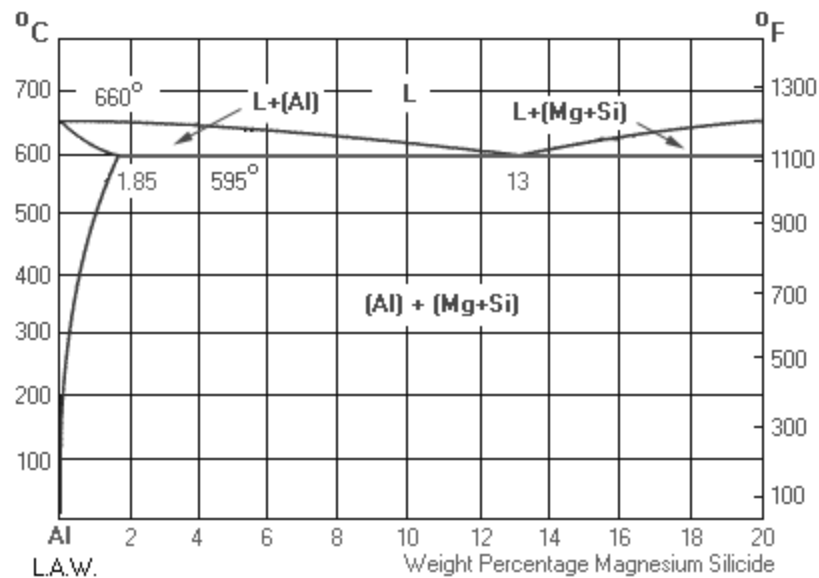
Paduan ini termasuk jenis yang dapat diperlaku-panaskan. Biasanya kedalam paduan pokok Al-Zn ditambahkan Mg, Cu dan Cr. Kekuatan tarik yang dapat dicapai lebih dari 50 kg/mm<sup>2</sup>, sehingga paduan ini dinamakan juga ultraduralumin. Berlawanan dengan kekuatan tariknya, sifat mampu las dan daya tahannya terhadap korosi kurang menguntungkan.

### **E. Aluminium 5083**

Aluminium terdiri dari beberapa kelompok yang dibedakan berdasarkan paduan penyusunnya. Penambahan paduan ini akan menghasilkan sifat yang berbeda pula. Aluminium 5083 merupakan paduan aluminium dengan magnesium (Mg), paduan ini memiliki sifat tidak dapat diperlakukan-panas, tetapi memiliki sifat baik dalam daya tahan korosi terutama korosi oleh air laut dan sifat mampu las Al-Mg banyak dipakai untuk konstruksi umum termasuk konstruksi kapal. Aluminium seri 5083 termasuk dalam golongan paduan aluminium seri 5xxxx, yaitu Al-Mg.

Paduan dalam sistem ini mempunyai kekuatan kurang sebagai barang tempaan dibandingkan dengan paduan-paduan lainnya, tetapi sangat liat, sangat baik mampu bentuknya untuk penempaan, ekstrusi dan sangat baik untuk mapu bentuk yang tinggi pada temperatur biasa (Surdia. 2005) Gambar 2.10 menunjukkan diagram fasa Al- Mg-Si dimana kalau sedikit Mg ditambahkan kepada Al, pengerasan penuaan sangat jarang terjadi. Tetapi apabila secara simultan mengandung Si, maka dapat dikeraskan dengan penuaan panas setelah perlakuan pelarutan (Surdia. 2005)

Diagram fasa Al-Mg menunjukkan bahwa kelarutan yang menurun dari Mg terhadap larutan pada Al dari temperatur tinggi ke temperatur yang lebih rendah.



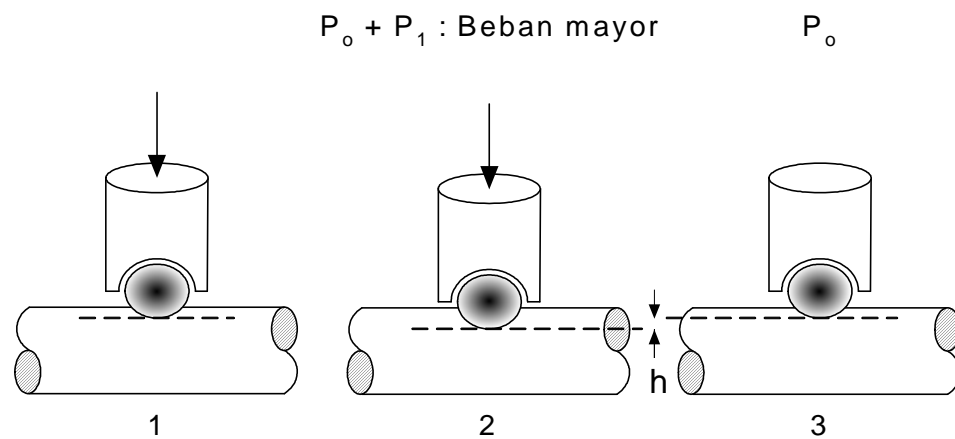
Gambar 2.10. Diagram fasa Al-Mg-Si (Sumber: Surdia, 2005)

## F. Kekerasan *Rockwell*

Pengujian *rockwell* angka kekerasan yang diperoleh merupakan fungsi derajat indentasi. Beban dan indentor yang digunakan bervariasi tergantung pada kondisi pengujian. Berbeda dengan pengujian *brinell*, indentor dan beban yang digunakan lebih kecil sehingga menghasilkan indentasi yang lebih kecil dan lebih halus. Banyak digunakan di industri karena prosedurnya lebih cepat (Kristianto S.N, 2010).

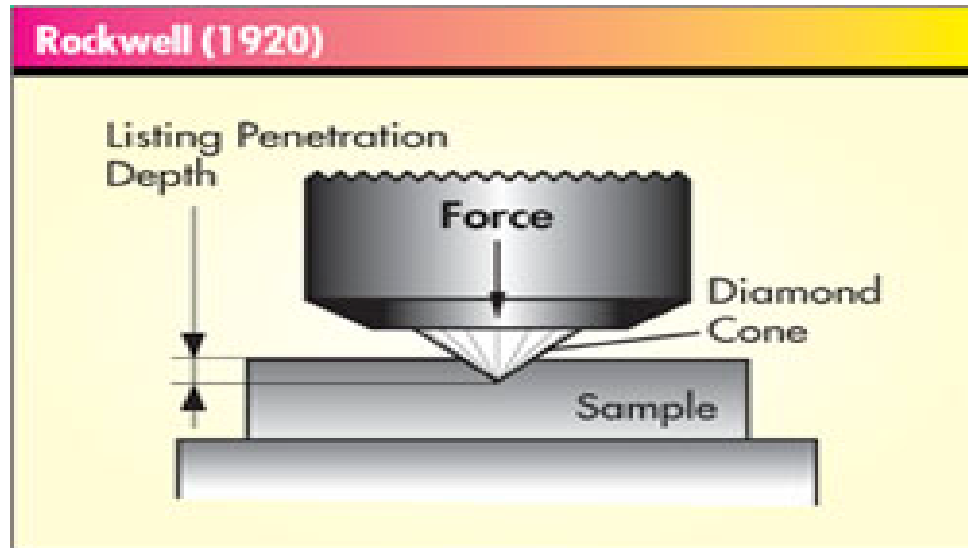
Uji kekerasan ini banyak digunakan di Amerika Serikat, hal ini disebabkan oleh sifat-sifatnya yaitu : cepat, bebas dari kesalahan manusia, mampu untuk membedakan perbedaan kekerasan yang kecil pada baja yang diperkeras, dan ukuran lekukannya kecil sehingga bagian yang mendapat perlakuan panas yang lengkap, dapat diuji kekerasannya tanpa menimbulkan kerusakan. Uji ini menggunakan kedalaman lekukan pada beban yang konstan sebagai ukuran kekerasannya. Mula-mula diterapkan beban kecil sebesar 10 kg untuk menempatkan benda uji. Hal ini akan memperkecil jumlah preparasi permukaan yang dibutuhkan dan juga memperkecil kecenderungan untuk terjadi penumbukan keatas atau penurunan yang disebabkan oleh penumbuk. Kemudian diterapkan beban yang besar, dan secara otomatis kedalaman lekukan akan terekam pula *gage* penunjuk yang menyatakan angka kekerasan. Penunjuk tersebut terdiri atas 100 bagian, masing-masing bagian menyatakan penembusan sedalam 0,00008 inci. Petunjuk kebalikan sedemikian hingga kekerasan yang tinggi yang berkaitan dengan penembusan yang kecil, menghasilkan penunjukkan angka kekerasan yang tinggi.

Hal ini sesuai dengan angka kekerasan lain yang telah dijelaskan sebelumnya. Tetapi tidak seperti penentuan kekerasan cara *Vickers* dan *Brinell* yang mempunyai satuan kg per milimeter kuadrat ( $\text{kg}/\text{mm}^2$ ), angka kekerasan *Rockwell* semata-mata tergantung pada kita (Mujiono, 2010)



Gambar 2.11. Cara kerja mesin pengujian kekerasan *Rockwell* (Sumber: Sahuddin, 2010)

Suatu kombinasi antara beban dan penumbuk, tidak akan memberikan hasil yang memuaskan, untuk bahan-bahan yang mempunyai daerah kekerasan yang luas. Biasanya digunakan penumbuk berupa kerucut intan  $120^\circ$  dengan puncak yang hampir bulat dan dinamakan penumbuk *Brale*, serta bola baja berdiameter  $\frac{1}{16}$  inci dan  $\frac{1}{8}$  inci. Beban yang digunakan adalah 60, 100 dan 150 kg. Karena kekerasan *Rockwell* tidak tergantung pada beban dan penumbuk, maka diperlukan mengenai kombinasi yang digunakan. Hal ini dilakukan dengan cara memberikan awalan huruf pada angka kekerasan yang menunjukkan kombinasi beban dan penumbuk tertentu untuk skala beban yang digunakan. Suatu kekerasan *Vickers* yang tidak mempunyai awalan huruf, tidak mempunyai arti (Kristianto S.N, 2010)



Gambar 2.12. Media Pengujian *Rockwell* (Sumber: Morishada, 1988)

Baja yang diperkeras diuji pada skala C dengan menggunakan penumbuk intan dan beban besar 100 kg. Daerah dari skala tersebut adalah dari  $R_B$  0 hingga  $R_B$  100. Skala A (penumbuk intan, beban besar 60 kg) merupakan skala kekerasan *Rockwell* yang paling luas, yang dapat digunakan untuk bahan-bahan mulai dari tembaga yang dilunakkan hingga kabrida sementara (*cemented carbide*). Terdapat skala yang dapat digunakan untuk keperluan-keperluan khusus.

Angka kekerasan *Rockwell B* dan *Rockwell C* dinyatakan sebagai kedalaman indentasi dapat ditulis sebagai berikut :

$$R_B = 130 - \frac{\text{kedalaman indentasi (mm)}}{0,002} \dots \dots \dots (1)$$

$$R_C = 100 - \frac{\text{kedalaman indentasi (mm)}}{0,002} \dots \dots \dots (2)$$

Skala yang umum dipakai dalam pengujian *Rockwell* adalah:

- a. HRa (Untuk material yang sangat keras).
- b. HRb (Untuk material yang lunak). Indentor berupa bola baja dengan diameter  $\frac{1}{6}$  Inchi dan beban uji 100 Kgf.
- c. HRc (Untuk material dengan kekerasan sedang). Indentor berupa Kerucut intan dengan sudut puncak 120 derajat dan beban uji sebesar 150 kgf.

Tabel 2.3. Skala kekerasan *Rockwell* dan Huruf Depan.

Skala dan Huruf Depan	Indentor	Beban Mayor	Skala yang Dibaca
<u>Group I</u>			
B	Bola 1/16"	100	Merah
C	Kerucut Intan	150	Hitam
<u>Group II</u>			
A	Kerucut Intan	60	Hitam
D	Kerucut Intan	60	Hitam
E	Bola 1/8"	100	Merah
F	Bola 1/16"	60	Merah
G	Bola 1/16"	150	Merah
H	Bola 1/8"	60	Merah
K	Bola 1/16"	150	Merah
<u>Group III</u>			
L	Bola 1/4"	60	Merah
M	Bola 1/4"	100	Merah
P	Bola 1/4"	150	Merah
R	Bola 1/2"	100	Merah
S	Bola 1/2"	100	Merah
V	Bola 1/2"	150	Merah

(Sumber: Kristianto S.N, 2010)

Uji kekerasan *Rockwell* sangat berguna dan mempunyai kemampuan ulang (*reproducible*) asalkan sejumlah kondisi sederhana yang diperlukan dapat dipenuhi. Sebagian besar hal-hal yang disusun berikut dapat diterapkan dengan baik pada uji kekerasan yang lain:

1. Penumbuk dan landasan harus bersih dan terpasang dengan baik.
2. Permukaan benda yang akan diuji harus bersih, kering, halus dan bebas dari oksida.
3. Permukaan yang kasar biasanya dapat menggunakan uji *Rockwell*.
4. Permukaan harus datar dan tegak lurus terhadap penumbuk.
5. Uji untuk permukaan silinder akan memberikan pembacaan hasil pembacaan yang rendah, kesalahan yang terjadi tergantung pada lengkungan, beban, penumbuk, dan kekerasan bahan. Juga telah dipublikasikan koreksi secara teoritis dan empiris.
6. Daerah diantara lekukan-lekukan harus 3 sampai 5 kali diameter lekukan.
7. Kecepatan penerapan beban harus dibakukan. Hal ini dilakukan dengan cara mengatur daspot pada mesin uji *Rockwell*. Tanpa pengontrolan beban secara hati-hati dapat terjadi variasi nilai kekerasan yang cukup besar pada bahan-bahan yang sangat lunak. Untuk bahan-bahan demikian gagang pengoperasian mesin uji *Rockwell* harus dikembalikan ke posisi semula segera setelah beban besar diterapkan secara penuh (Kristianto S.N, 2010)

## G. Kekuatan Tarik

Untuk mengetahui kekuatan dan cacat yang terjadi pada sambungan logam hasil pengelasan dapat dilakukan dengan pengujian merusak dan pengujian tidak merusak. Pengujian merusak dapat dilakukan dengan uji mekanik untuk mengetahui kekuatan sambungan logam hasil pengelasan, yang salah satunya dapat dilakukan suatu uji tarik yang telah distandarisasi.

Kekuatan tarik sambungan las sangat dipengaruhi oleh sifat logam induk, daerah HAZ, sifat logam las, dan geometri serta distribusi tegangan dalam sambungan (Wiryosumarto, 2000)

Untuk melaksanakan pengujian tarik dibutuhkan batang tarik. Batang tarik dengan ukuran-ukuran yang dinormalisasikan, dibubut dari spesimen yang akan diuji. Uji tarik merupakan salah satu dari beberapa pengujian yang umum digunakan untuk mengetahui sifat mekanik dari satu material. Dalam bentuk yang sederhana, uji tarik dilakukan dengan menjepit kedua ujung spesimen uji tarik pada rangka beban uji tarik. Gaya tarik terhadap spesimen uji tarik diberikan oleh mesin uji tarik (*Universal Testing Machine*) yang menyebabkan terjadinya pemanjangan spesimen uji dan sampai terjadi patah.

Dalam pengujian, spesimen uji dibebani dengan kenaikan beban sedikit demi sedikit hingga spesimen uji tersebut patah, kemudian sifat-sifat tarikannya dapat dihitung dengan persamaan:

$$\text{Tegangan} : \sigma = \frac{F}{A_0} \text{ (kgf/mm}^2\text{)} \dots \dots \dots (3)$$

Dimana : F = beban (kgf)

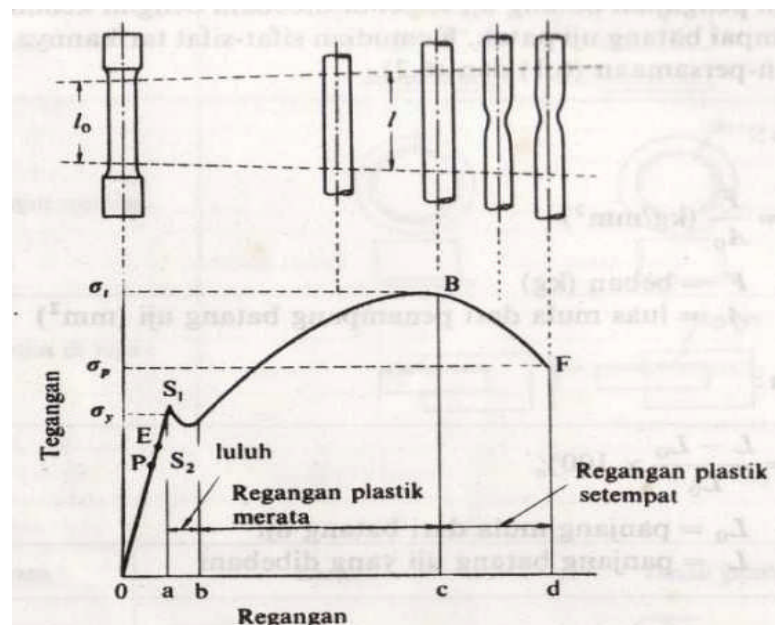
A<sub>0</sub> : luas mula dari penampang batang uji (mm<sup>2</sup>)

$$\text{Regangan} : \varepsilon = \frac{L-L_0}{L_0} \times 100\% \dots\dots\dots(4)$$

Dimana :  $L_0$  = panjang mula dari batang uji (mm)

$L$  = panjang batang uji yang dibebani (mm)

Hubungan antara tegangan dan regangan dapat dilihat dalam Gambar 2.13, titik P menunjukkan batas dimana hukum Hooke masih berlaku dan disebut batas proporsional, dan titik E menunjukkan batas dimana bila beban diturunkan ke nol lagi tidak akan terjadi perpanjangan tetap pada batang uji dan disebut batas *elastic*. Titik E sukar ditentukan dengan tepat karena itu biasanya ditentukan batas *elastic* dengan perpanjangan tetap sebesar 0,005% sampai 0,01%. Titik S1 disebut titik luluh atas dan titik S2 titik luluh bawah. Pada beberapa logam batas luluh ini tidak kelihatan dalam diagram tegangan-regangan, dan dalam hal ini tegangan luluhnya ditentukan sebagai tegangan dengan regangan sebesar 0,2% (Supriyanto, 2000)



Gambar 2.13. Kurva tegangan- regangan teknik (Sumber: Sanjaya, 2009)

Uji tarik suatu material dapat dilakukan dengan menggunakan *universal testing machine*. Benda uji dijepit pada mesin uji tarik, kemudian beban static dinaikkan secara bertahap sampai spesimen putus. Besarnya beban dan pertambahan panjang dihubungkan langsung dengan *plotter*, sehingga diperoleh grafik tegangan ( $\text{Kgf/mm}^2$ ) dan regangan (%) yang memberikan informasi data berupa tegangan luluh ( $\sigma_{ys}$ ), tegangan *ultimate* ( $\sigma_{ult}$ ), modulus elastisitas bahan (E), ketangguhan dan keuletan sambungan las yang diuji tarik (Kristianto S N, 2010)

## H. Baja

Baja adalah besi karbon campuran logam yang dapat berisi konsentrasi dari elemen campuran lainnya, ada ribuan campuran logam lainnya yang mempunyai perlakuan bahan dan komposisi berbeda. Sifat mekanis adalah sensitif kepada isi dari pada karbon, yang mana secara normal kurang dari 1,0%C. Sebagian dari baja umum digolongkan menurut konsentrasi karbon, yakni ke dalam rendah, medium dan jenis karbon tinggi. Baja merupakan bahan dasar vital untuk industri. Semua segmen kehidupan, mulai dari peralatan dapur, transportasi, generator pembangkit listrik, sampai kerangka gedung dan jembatan menggunakan baja. Besi baja menduduki peringkat pertama di antara barang tambang logam dan produknya melingkupi hampir 90 % dari barang berbahan logam.

Berdasarkan tinggi rendahnya presentase karbon di dalam baja, baja karbon diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Baja Karbon Rendah (*low carbon steel*)

Baja karbon rendah mengandung karbon antara 0,10 s/d 0,30 %. Baja karbon ini dalam perdagangan dibuat dalam plat baja, baja strip dan baja batangan atau profil. Berdasarkan jumlah karbon yang terkandung dalam baja, maka baja karbon rendah dapat digunakan atau dijadikan baja-baja sebagai berikut:

- a. Baja karbon rendah yang mengandung 0,04 % - 0,10% C untuk dijadikan baja-baja plat atau strip.
- b. Baja karbon rendah yang mengandung 0,05% C digunakan untuk keperluan badan-badan kendaraan.
- c. Baja karbon rendah yang mengandung 0,15% - 0,30% C digunakan untuk konstruksi jembatan, bangunan, membuat baut atau dijadikan baja konstruksi.

2. Baja Karbon Menengah (*medium carbon steel*)

Baja karbon menengah mengandung karbon antara 0,30% - 0,60% C. Baja karbon menengah ini banyak digunakan untuk keperluan alat-alat perkakas bagian mesin. Berdasarkan jumlah karbon yang terkandung dalam baja maka baja karbon ini dapat digunakan untuk berbagai keperluan seperti untuk keperluan industri kendaraan, roda gigi, pegas dan sebagainya.

3. Baja Karbon Tinggi (*high carbon steel*)

Baja karbon tinggi mengandung kadar karbon antara 0,60% - 1,7% C dan setiap satu ton baja karbon tinggi mengandung karbon antara 70 130 kg.

Baja ini mempunyai tegangan tarik paling tinggi dan banyak digunakan untuk material *tools*. Salah satu aplikasi dari baja ini adalah dalam pembuatan kawat baja dan kabel baja. Berdasarkan jumlah karbon yang terkandung didalam baja maka baja karbon ini banyak digunakan dalam pembuatan pegas, alat-alat perkakas, seperti: palu, gergaji atau pahat potong. Selain itu baja jenis ini banyak digunakan untuk keperluan industri lain seperti pembuatan kikir, pisau cukur, mata gergaji dan lain sebagainya.

## **I. Pahat**

Pahat merupakan bagian dari mesin bubut yang memegang peran penting dalam pemotongan logam, karena pahat adalah bagian yang berkontak langsung dengan benda kerja yang dipotong. Ada beberapa kriteria yang harus dimiliki pahat, diantaranya: harus lebih keras dibanding benda kerja, tahan sifat mekanis dan tahan aus. Terdapat beberapa jenis material pahat, diantaranya: baja karbon, HSS (*High Speed Steel*), paduan cor *nonferro*, karbida, keramik, CBN (*Cubic Boron Nitrides*) dan intan. Pahat jenis HSS merupakan salah satu pahat yang mempunyai kekerasan cukup tinggi. Pahat ini merupakan pahat yang paling sering dijumpai di bengkel-bengkel bubut bahkan industri sekalipun.

Berikut merupakan urutan material pahat dari yang paling lunak tetapi ulet sampai paling keras tetapi getas (Rochim, 1993):

- a. Baja Karbon Tinggi (*High Carbon Steel; Carbon Tool Steels*).
- b. HSS (*High Speed Steels; Tool Steels*).
- c. Paduan Cor Nonferro (*Cast Nonferrous Alloys; Cast Carbides*).
- d. Karbida (*Cemented Carbides; Hardmetals*).
- e. Keramik (*Ceramics*).
- f. CBN (*Cubic Boron Nitrides*).
- g. Intan (*Sintered Diamonds dan Natural Diamond*).

1. HSS (*High Speed Steel*)

Pada tahun 1898 ditemukan jenis baja paduan tinggi dengan unsur paduan Chrom (Cr) dan Tungsten / *Wolfram* (W). Mulai proses penuangan (*Molten Metallurgy*) kemudian diikuti pengerolan atau penempaan baja ini dibentuk menjadi batang, atau silinder. Pada kondisi lunak (*Annealed*) bahan tersebut dapat diproses secara permesinan menjadi berbagai bentuk pahat potong. Setelah proses perlakuan panas dilaksanakan, kekerasannya akan cukup tinggi sehingga dapat digunakan pada kecepatan potong yang tinggi (sampai 3 kali kecepatan potong untuk pahat CTS yang dikenal pada saat itu sekitar 10 m/min, sehingga dinamakan dengan Baja kecepatan tinggi, HSS). Pahat ini apabila mengalami aus dapat diasah sehingga tajam kembali. Jenis pahat ini mempunyai *Resistance* dan *Abrasive resistance* yang tinggi. Komposisi HSS terdiri dari campuran:

a. Carbon (C)

Sejauh ini yang paling penting dari unsur-unsur dan sangat ketat dikontrol. Sedangkan kandungan karbon dari salah satu kecepatan tinggi baja perkakas biasanya tetap dalam batas-batas yang sempit, variasi dalam batas-batas ini dapat menyebabkan perubahan penting dalam sifat mekanik dan kemampuan pemotongan. Ketika konsentrasi karbon meningkat, maka kekerasan juga meningkat, sedangkan kekerasan suhu tinggi lebih tinggi. Sehingga meningkatkan ketahanan ausnya.

b. Tungsten (T) atau *Wolfram* (W)

Tungsten atau *Wolfram* dapat membentuk karbida yaitu paduan yang sangat keras ( $Fe_2 W_2 C$ ) yang menyebabkan kenaikan temperatur untuk proses *Hardening* dan *Tempering*. Dengan demikian *Hot hardness* dipertinggi.

c. *Chromium* (Cr)

Menaikkan *Hardenability* dan *Hot hardness*. *Chrom* merupakan elemen pembentuk karbida, akan tetapi Cr menaikkan sensitivitas terhadap *overheating*.

d. *Vanadium* (V)

Menurunkan sensitivitas terhadap *overheating* serta menghaluskan besar butir. Vanadium juga merupakan elemen pembentuk karbida.

e. *Molybdenum* (Mo)

Memiliki efek yang sama seperti W akan tetapi lebih terasa (2 % W dapat digantikan oleh 1 % Mo).

Dengan menambah 0,4 % sampai 0,9 % Mo dalam HSS paduan utama W (W-HSS) dapat dihasilkan HSS yang mampu dikeraskan di udara (*Air Hardening Properties* ). Selain itu, Mo-HSS lebih liat sehingga mampu menahan beban kejutan. Kejelekannya adalah lebih sensitif terhadap *overheating* (hangusnya ujung-ujung yang runcing) sewaktu dilakukan proses *Heat treatment*.

f. *Cobalt (Co)*

Bukan elemen pembentuk karbida. Ditambahkan dalam HSS untuk menaikkan *Hot hardness* dan tahan keausan. Besar butir menjadi lebih halus sehingga ujung-ujung yang runcing tetap terpelihara selama *Heat treatment* pada temperatur tinggi.

g. Silikon

Pengaruh silikon pada HSS sampai sekitar 1,00% adalah sedikit. Dan meningkatkan kandungan silikon 0,15-0,45% dengan memberikan sedikit peningkatan dalam kekerasan pada waktu ditemper meskipun tampaknya ada sedikit penurunan ketangguhan.

2. Pahat Karbida

*Cemented carbide* atau karbida yang disemen merupakan material pahat yang dibuat melalui sintering serbuk karbida yang terdiri dari nitrida dan oksida dengan bahan pengikat berupa Cobalt (Co). Melalui *carburizing* masing-masing serbuk Tungsten, Titanium, Tantalum dibuat menjadi Karbida yang kemudian digiling dan disaring. Salah satu atau campuran serbuk Karbida tersebut kemudian dicampur dengan bahan pengikat Co dan dicetak dengan memakai bahan pelumas.

Setelah itu dilakukan *presintering* (10000°C pemanasan mula untuk menguapkan bahan pelumas) dan kemudian *sintering* (16000°C) sehingga bentuk sisipan hasil proses cetak tekan akan menyusut menjadi sekitar 80% dari volume semula. Semakin besar presentase pengikat Co maka kekerasannya menurun dan sebaliknya keuletannya membaik.

Tiga jenis utama pahat karbida sisipan, yaitu:

- a. Karbida Tungsten (WC + Co) merupakan jenis pahat karbida untuk memotong besi tuang.
  - b. Karbida Tungsten Paduan (WC - TiC + Co; WC - TaC - TiC + Co; WC - TaC + Co; WC - TiC - TiN + Co; TiC + Ni, Mo) merupakan jenis pahat karbida yang digunakan untuk pemotongan baja.
  - c. Karbida lapis (*Coated Cemented Carbides*) merupakan jenis pahat Karbida Tungsten yang dilapis karbida, nitrida, atau oksida lain yang lebih rapuh tetapi *hot hardnessnya* tinggi.
3. Pahat Karbida Tungsten

Karbida tungsten murni merupakan jenis yang paling sederhana dimana hanya terdiri atas dua elemen yaitu karbida Tungsten (WC) dan pengikat *Cobalt* (Co). Jenis yang cocok untuk permesinan dimana mekanisme keausan pahat terutama disebabkan oleh proses abrasi seperti pada permesinan berbagai jenis besi tuang. Apabila digunakan pada benda kerja baja akan terjadi keausan kawah yang berlebihan.

### III. METODE PENELITIAN

#### A. Waktu dan Tempat Penelitian

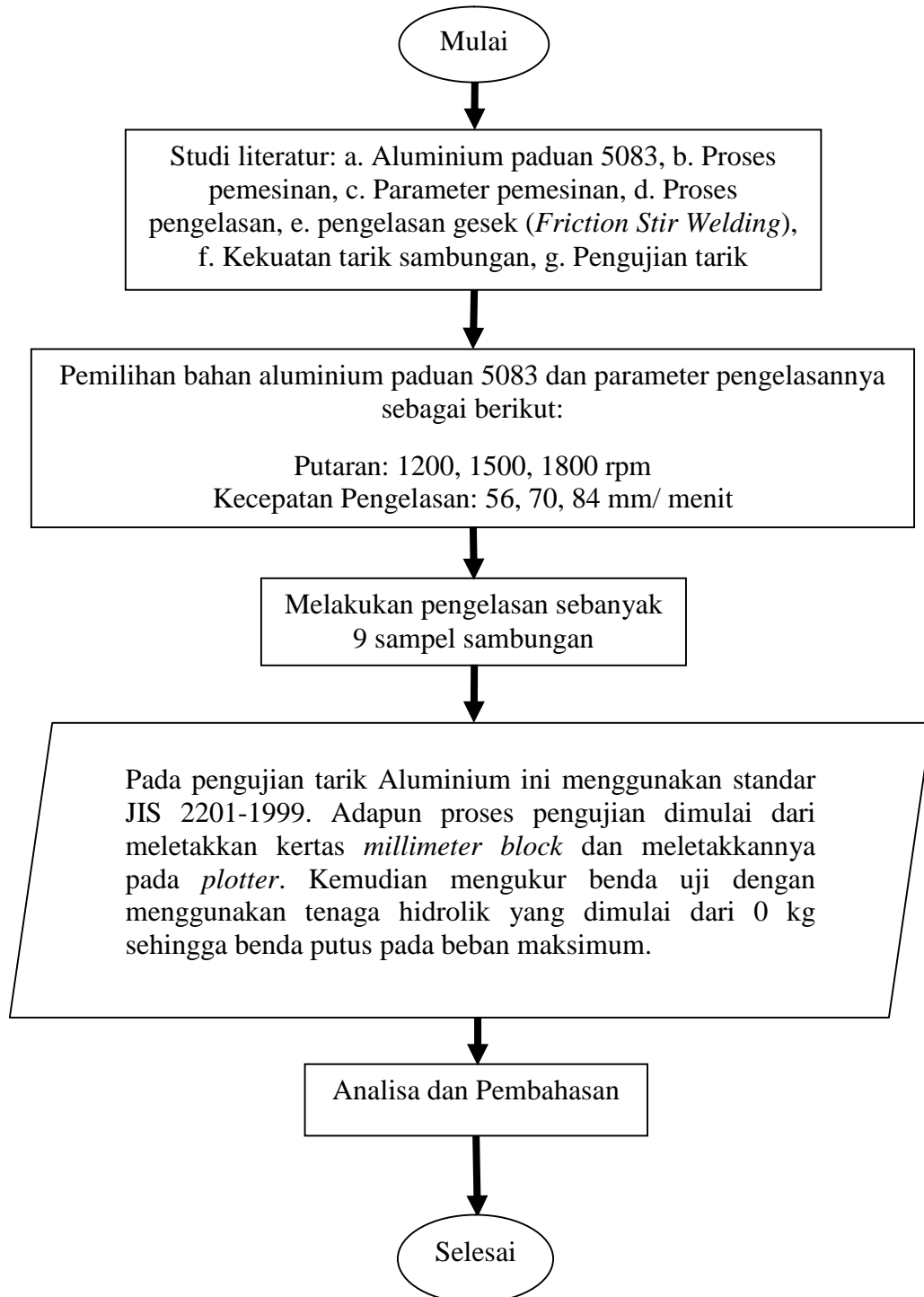
Penelitian ini dilaksanakan dalam 4 bulan yaitu dari bulan Februari 2017 sampai dengan Mei 2017. Penelitian akan dilakukan di Laboratorium Proses Produksi dan Laboratorium Material Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Tabel 3.1. Rencana kegiatan penelitian

Kegiatan		Februari				Maret				April				Mei			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1.	Studi Literatur	■	■	■	■												
2.	Persiapan Alat dan Bahan Pengujian		■	■	■	■	■	■	■								
3.	Pengujian dan Pengambilan Data			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■				
4.	Pengolahan Data						■	■	■	■	■	■	■				
5.	Pembuatan Laporan Akhir							■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

## B. Alur Penelitian

Secara garis besar, alur pelaksanaan penelitian ditunjukkan pada *flowchart* berikut ini:



Gambar 3.1. *Flowchart* Penelitian

### C. Bahan dan Alat Penelitian

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

#### 1. Aluminium paduan 5083

Adapun fungsi dan cara kerja dari aluminium paduan 5083 adalah sebagai berikut:

##### a. Fungsi

Adapun fungsi dari aluminium paduan 5083 ini adalah bahan/ material yang nantinya akan dipakai dalam proses pengelasan. Aluminium sendiri dipilih selain tahan terhadap korosi dan panas, juga sifat materialnya yang ringan akan memudahkan dalam proses pengelasan.

##### b. Cara kerja

Aluminium paduan 5083 adalah logam yang lunak dan ringan, sehingga untuk menyatukannya perlu suatu proses pengelasan. Cara kerjanya sendiri adalah dengan memanfaatkan gesekan dari mata pahat yang berputar dan benda kerja lain yang diam sehingga mampu melelehkan benda kerja yang diam tersebut dan akhirnya tersambung menjadi satu. Gambar dan spesifikasi dapat dilihat pada Gambar 3.2 dan Tabel 3.2.



Gambar 3.2. Aluminium paduan 5083.

Tabel 3.2. Spesifikasi Aluminium 5083.

<i>Element</i>	<i>Present (%)</i>
Si	max 0.4
Fe	max 0.4
Cu	max 0.1
Mn	0.4 - 1.0
Mg	4.0 - 4.9
Cr	0.05 - 0.25
Zn	max 0.25
Ti	max 0.15
Al	<i>remainder</i>

(Sumber: Sudarmin, 2001)

## 2. Pahat HSS (*High Speed Steel*)

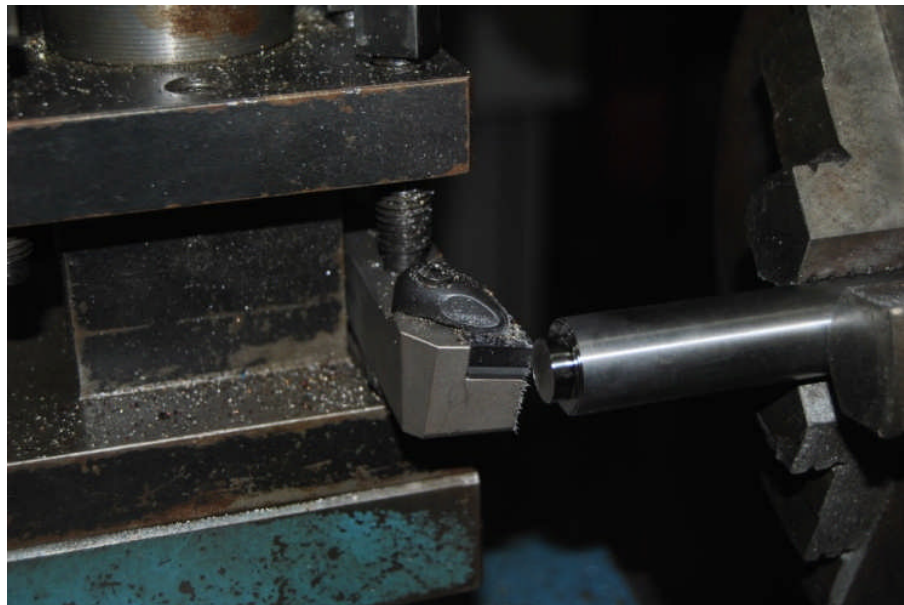
Adapun fungsi dan cara kerja dari Pahat HSS adalah sebagai berikut:

### a. Fungsi

Adapun fungsi dan cara kerja dari pahat ini ada untuk menyambungkan bagian sambungan yang nanti nya akan disatukan, kemudian dengan menempelkan ke area sambungan dengan posisi horizontal dan diasumsikan benda kerja dalam posisi yang datar.

### b. Cara kerja

Adapun cara kerja dari pahat hss ini adalah dengan berputar dalam rasio kecepatan yang ditentukan kemudian perlahan pahat akan turun kebawah dan mengenai sambungan yang berjalan vertikal. Disini pahat terdapat beberapa alur dan rongga agar pengelasan mendapatkan hasil yang sempurna, baik dan padat. Adapun gambar dapat dilihat pada Gambar 3.3



Gambar 3.3. Pahat HSS (*High Speed Steel*)

Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

### 1. Kamera SLR

Kamera SLR digunakan untuk mengambil gambar profil permukaan dari material aluminium AL 5083 yang sudah dilakukan proses pengelasan. Gambar dan spesifikasi alat dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4. Kamera SLR

### 2. Mesin *Milling*

Adapun prinsip kerja dan fungsi dari mesin *milling* adalah sebagai berikut:

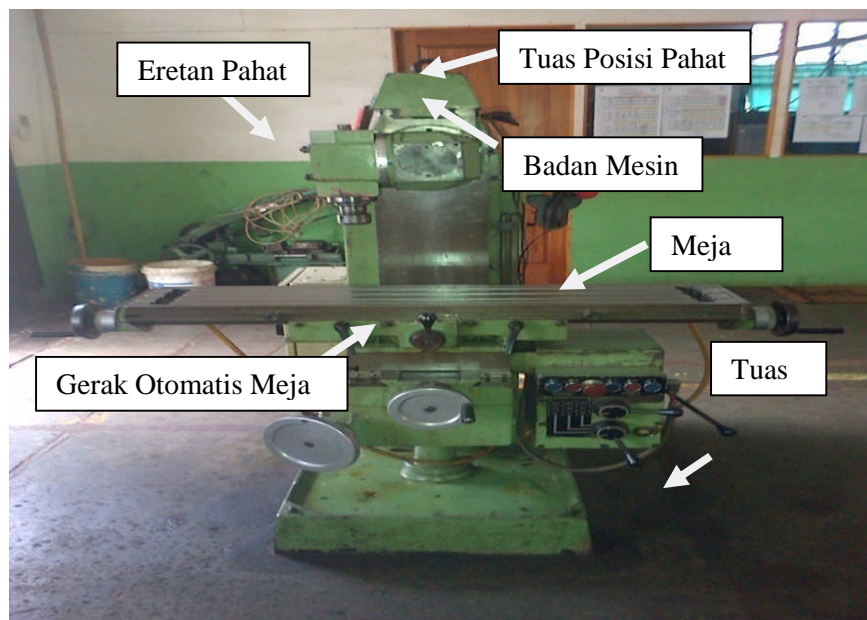
#### a. Prinsip Kerja

Tenaga untuk pemotongan berasal dari energi listrik yang diubah menjadi gerak utama oleh sebuah motor listrik, selanjutnya gerakan utama tersebut akan diteruskan melalui suatu transmisi untuk menghasilkan gerakan putar pada spindel mesin *milling*.

Spindel mesin *milling* adalah bagian dari sistem utama mesin *milling* yang bertugas untuk memegang dan memutar *cutter* sehingga menghasilkan putaran atau gerakan pemotongan. Gerakan pemotongan pada *cutter* jika dikenakan pada benda kerja yang telah dicekam maka akan terjadi gesekan/tabrakan sehingga akan menghasilkan pemotongan pada bagian benda kerja, hal ini dapat terjadi karena material penyusun *cutter* mempunyai kekerasan diatas kekerasan benda kerja.

b. Fungsi

Adapun fungsi dari mesin *milling* ini ialah untuk memotong benda kerja dalam bentuk mendatar. Gambar dan spesifikasi dapat dilihat pada gambar 3.5 dan tabel 3.3.



Gambar 3.5. Mesin *Milling*

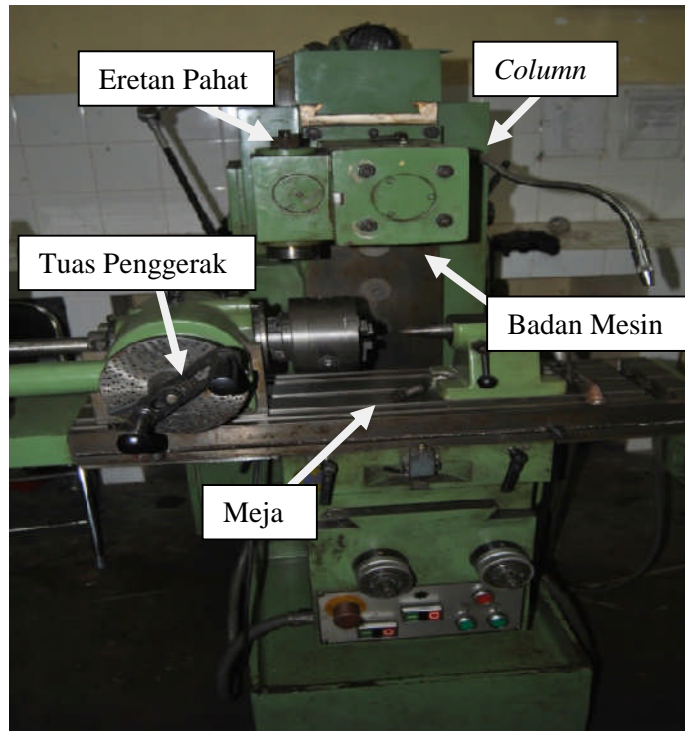
Tabel 3.3. Spesifikasi Mesin *Milling*

<i>Type</i>	MD100/ MD100H
<i>Spindel Taper</i>	ISO30
<i>Distance From Spindle To Table</i>	70- 420
<i>Spindle Speed</i>	1230- 1825 (V) 60- 1350 (H)
<i>Max Drilling Capacity</i>	50
<i>Table Size</i>	800 x 240
<i>Overall Dimension (L x W x H)</i>	1290x 1220x 2100

(Sumber: Suseno, 2009)

### 3. Mesin *Frais*

Mesin *Frais* digunakan untuk mengerjakan pekerjaan mesin yang terbuat dari logam dengan gerakan utama mesin ini adalah alat potongnya yang berputar, berbeda dengan mesin bubut yang gerakan berputarnya di benda. Gambar dan spesifikasi dapat dilihat pada Gambar 3.6 dan Tabel 3.4.

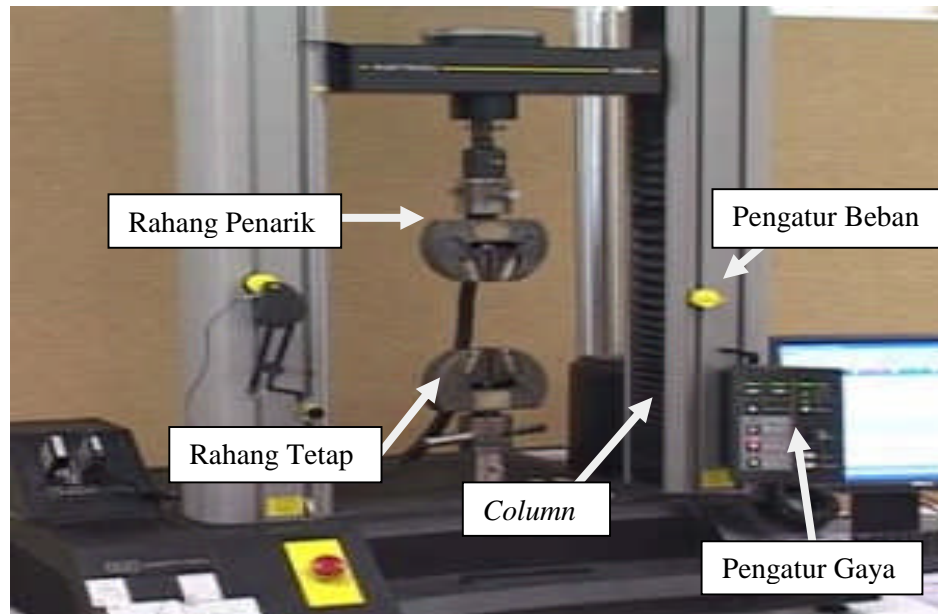
Gambar 3.6. Mesin *Frais*.Tabel 3.4. Spesifikasi *Mesin Frais*.

<i>Type</i>	ZX63500
<i>Max Drilling</i>	50
<i>Max End Milling Midth</i>	100
<i>Max Vertical Milling</i>	25
<i>Spindel Taper</i>	ISO400
<i>Table Size</i>	650* 300* 430
<i>Overall Size</i>	1400x 1400x 2250

(Sumber: Mujiono, 2005)

#### 4. Mesin Uji Tarik

Mesin uji tarik akan digunakan untuk mengetahui material tersebut dilihat atau tidak dengan mengukur perpanjangannya, untuk mengetahui tegangan dan regangan dari material aluminium 5083 yang telah dibuat. Gambar dan spesifikasi alat dapat dilihat pada gambar 3.7 dan tabel 3.6.



Gambar 3.7. Mesin Uji Tarik.

Tabel 3.5. Spesifikasi Mesin Uji Tarik

<i>Merk</i>	MFL Piuf- Und Me Bysteme GmbH D 6800 Manheim
<i>Capacity</i>	100 kN
<i>Type</i>	U PD 10
<i>Make Of Year</i>	1982
<i>Scalling Variable</i>	0- 20, 0- 50, 0- 100 kN

(Sumber: Waluyo, 2006)

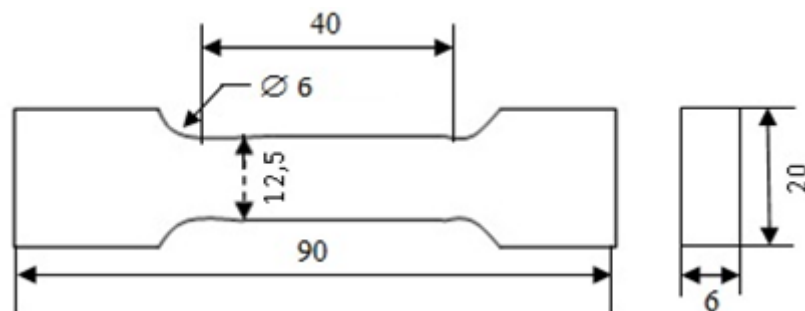
## D. Pelaksanaan Penelitian

### 1. Pengelasan Aluminium 5083

- a. Menyiapkan benda uji untuk pengelasan gesek, bahan Aluminium 5083 dengan ukuran panjang 50 mm, lebar 50 mm, dan tebal 6 mm.
- b. Menghidupkan mesin, sehingga pin memutar dan menekan material lalu *shoulder* terkena permukaan benda kerja sampai *probe* berada di dalam permukaan benda kerja
- c. Setelah mencapai suhu yang diinginkan, *Tool* bergerak mundur dan terjadi proses penyatuan material aluminium 5083 (*joining process*).
- d. Proses selesai, *tool* diangkat dan spesimen dipindahkan dari mesin las

### 2. Pembuatan spesimen uji tarik

Material aluminium 5083 yang telah dilas dengan pengaruh temperatur awal (160°C, 180°C dan 200°C). dibentuk sesuai ukuran standar JIS 2201-199.



Gambar 3.8. Spesimen Uji Tarik standar JIS 2201-1999

(Sumber: Kuncoro, 2006)

Keterangan:

$L = 90 \text{ mm}$

$L_0 = 40 \text{ mm}$

$D = 20 \text{ mm}$

$A_0 = 12,5 \text{ mm}$

$R = \varnothing 6$

## E. Pengujian

### 1. Uji Tarik

Pada pengujian tarik Aluminium ini menggunakan standar ASTM E6-69. Adapun proses pengujian dimulai dari meletakkan kertas *millimeter block* dan meletakkannya pada *plotter*. Kemudian mengukur benda uji dengan menggunakan tenaga hidrolik yang dimulai dari 0 kg sehingga benda putus pada beban maksimum. Setelah benda uji putus kemudian diukur berapa besar penampang dan panjang benda uji setelah putus. Untuk melihat beban dan gaya maksimum benda uji terdapat pada layar digital dan dicatat sebagai data, setelah semua data diperoleh kemudian menghitung kekuatan tarik, kekuatan luluh, dan perpanjangan benda.

Tabel 3.6. Data Uji Tarik

No.	Putaran (Rpm)	Kecepatan Pengelasan (mm/menit)
1.	1200	56
2.		70
3.		84
4.	1500	56
5.		70
6.		84
7.	1800	56
8.		70
9.		84

## 2. Mengetahui karakteristik patahan uji tarik

Adapun langkah untuk mengetahui karakteristik patahan uji tarik sebagai berikut :

- a. Menyiapkan kamera SLR untuk melihat hasil lasan pada sambungan, kemudian menaruhnya ditempat yang terang supaya gambarnya terlihat lebih jelas.
- b. Kemudian taruh spesimen yang sudah diuji tarik di tempat yang datar. Setelahnya bahan alumunium setelah dilas diketahui karakteristik patahannya. Untuk dapat melihat hasil foto yang lebih jelas digunakan laptop untuk memudahkan melihat patahan. Berikutnya buka slot pada kamera SLR untuk mengeluarkan kartu memorinya, setelah itu hasil foto dipindahkan agar dapat terlihat di laptop.

## V. SIMPULAN DAN SARAN

### A. Simpulan

Setelah melakukan penelitian dan pengolahan data, maka dapat diambil simpulan sebagai berikut:

1. Setelah dilakukan pengujian diketahui bahwa pengaruh kecepatan putaran pada hasil tegangan akhir lebih sedikit dibandingkan kecepatan pengelasan karena panas yang dihasilkan lebih banyak terdapat pada kecepatan pengelasan.
2. Nilai kekuatan tarik terbesar pada kecepatan putaran 1200 rpm adalah sebesar  $162.466 \text{ N/m}^2$ . Berikutnya pada kecepatan putaran 1500 rpm didapat kekuatan tarik terbesar yaitu  $84.682 \text{ N/m}^2$  dan pada kecepatan putaran 1800 rpm didapat kekuatan tarik sebesar  $128.058 \text{ N/m}^2$ .
3. Untuk mengetahui karakteristik patahan pada hasil lasan dapat disimpulkan bahwa semakin halus butiran hasil lasan maka akan sangat berpengaruh pada kekuatan tarik atau kekerasan hasil lasan.

## B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, maka peneliti menyarankan:

1. Sebaiknya penekanan *shoulder* pada saat pengelasan harus stabil supaya semua bagian dapat terlas.
2. Pada penelitian berikutnya tentang *Friction Stir Welding* variasikan tentang bentuk pahat dan diameter pin, karena pada saat pengelasan keduanya mempengaruhi hasil lasan.
3. Pada penelitian selanjutnya , untuk mendapatkan hasil yang lebih baik dengan cara ditambahkan temperaturnya awal pada saat pengelasan *Friction Stir Welding*.

## DAFTAR PUSTAKA

Anonymous <http://www.rainbowaluminium.com>. Diunduh pada Tanggal 17 Desember 2017 Pukul 21:15 wib

Anonymous <http://www.wordpress.com>. Diunduh pada Tanggal 17 Desember 2017 Pukul 20:00 wib

Anonymous.<http://www.infometrik.com>. Diunduh pada Tanggal 17 Desember 2017 2015 pukul 21:20 wib

Anonymous.<http://msiptek.itn.ac.id>. Diunduh pada Tanggal 17 Desember 2017 pukul 20:17 wib

Anonymous <http://msiptek.itn.ac.id>. Diunduh pada Tanggal 17 Desember 2017 pukul 20:18 wib

Anonymous <http://sigitlaruku27.blogspot.com>. Diunduh pada Tanggal 17 Desember 2017 pukul 20:19 wib

Anonymous <http://asm.matweb.com>. Diunduh pada Tanggal 17 Desember 2017 pukul 20:30 wib

Purwaningrum & Setyanto, 2011. *Aluminium dan Paduan Aluminium*. Penerbit Kansius. Yogyakarta.

Mahardi & Wiryosumarto, 2011. *Oksida Aluminium AL 203*. Indoskripsi (1). <http://one.indoskripsi.com>.

Iskandar. 2003. *Metodologi Mekanik*. Jakarta: Erlangga.

Harsono, 2002 & Leonard, 2003. *Friction Stir Welding*. Penerbit Alfabeta. Bandung.

Nandan et al, 2009. *The Testing of Engineering Materials*. Edisi 4. Penerbit McGraw Hill. New York.

Juwanda, 2004. *Sifat Mekanik Aluminium Alloy (3)*. Penerbit Erlangga. Jakarta.

Angger Sudrajat F. P, Analisis Sifat Mekanik Hasil Pengelasan Aluminium AA 1100 Dengan Metode Friction Stir Welding (FSW), Universitas Jember (2012).

Wiryosumarto, 2000. *Definisi dan Penjelasan Tentang Pengelasan*. Jilid 3. Yogyakarta.

Hendra & Sabudin, 2009. *Las Elektroda Terbungkus*. Penerbit Angkasa (2). Surabaya.

Supriyadi, 2008. *Fluks dan Filler (Bahan Pengisi)*. Penerbit Erlangga. Jakarta.

Odi & Prasetya, 2007. *Proses dan Klasifikasi Pengelasan*. Jilid 2. Yogyakarta.

Okumura, 2000. *Fusion Welding and Arc Welding (GTAW)*. Edisi 7. Penerbit Neonoda. Japan.

Robert, 2012. *Aluminium and Aluminium Alloy*, Ohio: ASM International (1993).

Supriyadi, 2008. Kekuatan Sambungan Las Aluminium Seri 1100 dengan Variasi Kuat Arus Listrik Pada Proses Las *Metal Inert Gas* (MIG).vol 3 (2009).

Iskandar, 2003 & Thosie Okumura. 2000. *Teknologi Pengelasan logam*. Jakarta: Pradnya Paramita.

Hadi, Eko. 2011. *Pengelasan GMAW*. (online). Tersedia pada <http://steellinks.com> > [Home](#) > [Cokemaking](#)

Jarot Wijayanto & Agdha Anelis, *Pengaruh Feed Rate terhadap Sifat Mekanik pada Pengelasan Friction Stir Welding Alumunium 6110* (Jurnal). Yogyakarta : Jurusan Teknik Mesin, Institut Sains & Teknologi Akprind (2010)

Kristianto Suro Nugroho, *Analisa Pengujian Kekerasan Material Baja Karbon Rendah, Besi, Tembaga, Alumunium, serta Zn (seng) dengan Menggunakan Metode Uji Kekerasan Brinell*.Universitas Pamulang. Tangerang (2010)

Messler, R.W., 1999, *Principle of Welding*, John Wiley & Sons Inc, New York, USA.

Handoko, 2008 & Suseno, 2006. *Ilmu Bahan*. Jakarta: Bumi Aksara.

Messler, 1999. *Material Science & Engineering*. University of Minnesota:John Wiley & Sons.

Thakasima, 2002. *Aluminium and Aluminium Alloy*, Ohio: ASM International.

Taban, 2007. Comparison Between Microstructure Characteristics And Joint Performance of 5086-H32 Aluminium Alloy Welded by MIG, TIG and Friction Stir Welding Processes. Turki: Department of Mechanical Engineering, Engineering Faculty, Kocaeli University, Veziroglu Campus, 41200 Kocaeli.