



**ANALISIS SIFAT MEKANIK HASIL PENGELASAN  
ALUMINIUM AA 1100 DENGAN METODE  
*FRICTION STIR WELDING*  
(FSW)**

**SKRIPSI**

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat  
untuk menyelesaikan program studi teknik mesin (S1)  
dan mencapai gelar sarjana teknik

Oleh

**Angger Sudrajat F. P.  
NIM 071910101091**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 (S-1)  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2012**

## **PERSEMBAHAN**

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Ayahanda dan Ibunda yang tercinta;
2. Mbak Arum dan Lek Etik yang saya cintai;
3. Adik – adikku yang unyu-unyu;
4. Bapak/ibu guru sejak sekolah dasar sampai perguruan tinggi;
5. Teman-teman Teknik Mesin 2007;
6. Teman-teman Rent Hause Manggis XI;
7. Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember.

## MOTTO

“ Raihlah ilmu, dan untuk meraih ilmu belajarlah untuk tenang dan sabar”  
(Khalifah ‘Umar)

“ Ilmu bagaikan satu lilin kecil menyala di dalam ruang besar, jika lilin tersebut  
berbagi api dengan lilin – lilin yang lain niscaya menerangi ruang besar  
begitu juga ilmu akan bermanfaat jika dibagi untuk orang lain”  
(Gadang Priyotomo)

“ Disaat kita menghadapi masalah besar, perlu kita ketahui bahwa kita memiliki  
ALLAH Yang Maha Besar”  
(Firdaus Bahreisy)

“ Percaya dengan kemampuan yang kita miliki dan jangan pernah menyerah  
sebelum kita mengetahui apa yang akan terjadi kepada diri kita ”  
(Angger Sudrajat F P)

## PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Angger Sudrajat F P

NIM : 071910101091

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul: “Analisis Sifat Mekanik Hasil Pengelasan Aluminium AA 1100 Dengan Metode *Friction Stir Welding* (FSW)” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada instansi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, Februari 2012

Yang menyatakan,

Angger Sudrajat F P  
NIM 071910101091

**SKRIPSI**

**ANALISIS SIFAT MEKANIK HASIL PENGELASAN  
ALUMINIUM 1100 DENGAN METODE  
*FRICION STIR WELDING*  
(FSW)**

Oleh

**Angger Sudrajat F P  
NIM 071910101091**

Pembimbing :

Dosen Pembimbing Utama : Sumarji, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Mahros Darsin, S.T., M.Sc.

## **PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “Analisis Sifat Mekanik Hasil Pengelasan Aluminium AA 1100 Dengan Metode Friction Stir Welding (FSW)” telah diuji dan disahkan pada:

Hari, Tanggal : Rabu, 22 Februari 2012

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

### **Tim Penguji**

Ketua,

Sumarji, S.T., M.T.  
NIP. 19680202 199702 1 001

Anggota I,

Ir. Ahmad Syuhri, M.T.  
NIP. 19670123 199702 1 001

Sekretaris,

Mahros Darsin, S.T., M.Sc.  
NIP. 197003221 199501 1 001

Anggota II,

Hari Sutjahyono, S.T., M.T.  
NIP. 19681205 199702 1 002

Mengesahkan  
Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Ir. Widyono Hadi., M.T.  
NIP. 19610414 198902 1 001

## RINGKASAN

**Analisis Sifat Mekanik Hasil Pengelasan Aluminium AA 1100 Dengan Metode Friction Stir Welding (FSW);** Angger Sudrajat F. P., 071910101091; 2012: 70 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Perkembangan dunia perindustrian saat ini mulai mempertimbangkan material aluminium sebagai bahan utama dalam proses produksi. Ini dikarenakan 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 pada dunia industri banyak digunakan untuk heat exchangers, *pressure vessels*, pipa, dll. Namun 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  $Al_2O_3$  yang mempunyai titik cair yang tinggi sehingga 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. Akan tetapi, perbedaan yang paling mendasar adalah nilai keuletan pada logam las, dimana nilai keuletan logam las baja selalu tinggi bila dibandingkan dengan logam induk, sedangkan pada aluminium nilai keuletan pada logam las cenderung lebih kecil daripada nilai keuletan pada logam induk. Seiring dengan hal tersebut maka perlu dilakukan penelitian-penelitian agar proses penyambungan aluminium menjadi lebih mudah dan memiliki kekuatan yang optimal. Proses penyambungan aluminium paduan salah satunya dapat dilakukan dengan cara pengelasan *friction stir welding*.

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. Prinsip kerja FSW adalah memanfaatkan gesekan dari benda kerja yang

berputar dengan benda kerja lain yang diam sehingga mampu melelehkan benda kerja yang diam tersebut dan akhirnya tersambung menjadi satu. Proses pengelasan dengan FSW terjadi pada kondisi padat (*solid state joining*). Proses pengelasan dengan FSW terjadi pada temperature *solvus*, sehingga tidak terjadi penurunan kekuatan akibat *over aging* dan larutnya endapan koheren. Karena temperature pengelasan tidak terlalu tinggi, maka tegangan sisa yang terbentuk dan distorsi akibat panas juga rendah. Karakteristik mekanis sambungan pada FSW ditentukan oleh parameter : kecepatan pengelasan, putaran *tool*, dan tekanan *tool*.

Pada penelitian ini pengelasan aluminium AA 1100 dengan metode *friction stir welding* (FSW) dapat dilakukan dengan baik. Hasil pengujian tarik diperoleh bahwa rata - rata ultimate strength untuk pengelasan dengan menggunakan putaran tool 780 rpm adalah 52.222 Mpa, untuk putaran tool 980 rpm adalah 38.472 Mpa dan putaran tool 1120 adalah 56.528 Mpa. Dengan hasil ini dapat diketahui bahwa ultimate strength yang tertinggi adalah dengan menggunakan putaran tool 1120 rpm dan ultimate strength pada putaran tool 980 rpm adalah yang terendah. Cacat *wormholes* pada pengelasan dengan putaran tool 980 rpm adalah hal utama yang mengurangi kekuatan tarik pada penelitian ini. Hasil pengamatan makro diketahui cacat *wormholes* terbesar terdapat pada hasil pengelasan dengan putaran *tool* 980 rpm dan juga adanya celah karena kurangnya penetrasi dan menimbulkan konsentrasi tegangan pada hasil pengelasan, celah ini juga terjadi pada variasi putaran *tool* 780 rpm. Dari pengamatan mikro diketahui bahwa bentuk butir pada daerah *stir zone* partikel FeAl<sub>3</sub> tersebar lebih merata pada matriks Al yang disebabkan adanya proses puntiran pada saat proses pengelasan berlangsung. Pengujian kekerasan menunjukkan bahwa logam las lebih lunak daripada logam induk. Sedangkan daerah TMAZ mempunyai kekerasan yang paling rendah.

## SUMMARY

**Mechanical Properties And Microstructure Of Alluminium AA 1100 by Friction Stir Welding**; Angger Sudrajat F. P., 071910101091; 2012: 70 pages; the Mechanical Department, the Faculty Of Engineering, Jember University.

Development of the industrial world are now starting to consider the aluminum material as the main ingredient in the production process. This is because aluminum and aluminum alloys including light metals having high strength, corrosion resistance, good electrical conductors and aluminum is lighter than iron or steel. The use of aluminum in particular types of AA 1100 in the industrial world are widely used for heat exchangers, pressure vessels, pipes, etc. However, aluminum and aluminum alloys have properties that are less well when compared to steel, such as specific heat and has a high conductivity, easily oxidized and forming an aluminum oxide  $Al_2O_3$  having a high melting point, resulting in a fusion between the base metal and weld metal to be blocked and if in too fast cooling process will form a smooth cavity ex-pouch of hydrogen. However, the most fundamental difference is the value of perseverance in the weld metal, where the value of steel weld metal toughness is always high when compared with the parent metal, while in the weld metal toughness values of aluminum tend to be smaller than the value of toughness in the parent metal. Along with these case need to be done research to makes it easy of aluminum welding and have optimal strength. One of which the welding process of aluminum alloy can be done by friction stir welding.

FSW (friction stir welding) is a welding method that has been discovered and developed by Wayne Thomas for the work piece of aluminum and aluminum alloy in 1991 at TWI (The Welding Institute) United States. FSW welding process to occur in the solid state (solid state joining). FSW welding process to occur at the solvus temperature, so there is no decrease in strength due to overaging and dissolving of

the precipitate coherent. Because the welding temperature is not too high, then the residual stress and distortion of heat effect is also low. Mechanical characteristics of the FSW is determined by the parameters: welding speed, tool rotation and tool pressure.

In this research, the welding of aluminum AA 1100 by friction stir welding method (FSW) can be done well. Tensile test results obtained that the averages of ultimate strength for welding with using 780 rpm is 52 222 Mpa, for 980 rpm is 38 472 MPa and 1120 rpm is 56 528 MPa. With these results can be seen that the highest ultimate strength is use 1120 rpm and ultimate strength at 980 rpm is the lowest. Wormholes defects in the welding with 980 rpm is the main factor that reduces the tensile strength in this research. Macro observations are known the largest wormholes defects in the welding with 980 rpm and also the presence of cracks due to lack of penetration and cause of stress concentration at the weld, this case also occurs at 780 rpm. From micro observations is known on the grains shape of the stir zone, FeAl<sub>3</sub> particles is spread more evenly in matrix of Al due to the stir process during the welding process. Hardness testing showed that the weld metal is softer than the parent metal. While the TMAZ region has the lowest hardness.

## PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Sifat Mekanik Hasil Pengelasan Aluminium AA 1100 Dengan Metode *Friction Stir Welding* (FSW)”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Penulisan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu penulis ingin menyampaikan banyak-banyak ucapan terima kasih kepada :

1. Sumarji, S.T., M.T. selaku pembimbing utama dan Mahros Darsin, S.T., M.Sc., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang memberikan arahan dan saran-saran dalam penyelesaian skripsi ini.
2. Ir. Ahmad Syuhri, M.T., selaku penguji pertama dan Hari Sucahyono, S.T., M.T selaku penguji kedua yang telah memberikan saran dan waktu.
3. Mahros Darsin, S.T., M.Sc., selaku dosen pembimbing akademik selama perkuliahan.
4. Ayahanda Subig Nyono dan Ibunda Masrikah yang selalu sabar dan memberi semangat dalam penyelesaian skripsi.
5. Mbak Arum yang selalu menghibur dan memberikan support.
6. Adik – adikku yang selalu membuat hidup lebih bersemangat.
7. Teman teman Teknik Mesin 2007, keep solidarity forever.
8. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis juga menerima segala saran dan kritik yang membangun dari semua pihak guna kesempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, Februari 2012

Penulis

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	ii
<b>HALAMAN MOTTO</b> .....	iii
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	iv
<b>HALAMAN PEMBIMBINGAN</b> .....	v
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	vi
<b>RINGKASAN</b> .....	vii
<b>PRAKATA</b> .....	xi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xv
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xvi
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xvii
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	1
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	1
<b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....	3
<b>1.3 Tujuan dan Manfaat</b> .....	3
<b>1.4 Batasan Masalah</b> .....	4
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
<b>2.1 Pengelasan</b> .....	5
2.1 Linier Friction Stir Welding.....	5
2.1 Friction Stir Welding .....	6
<b>2.2 Klasifikasi Aluminium dan Paduannya</b> .....	11
2.2.1 Pengertian Dasar Aluminium.....	11
2.2.2 Sifat – Sifat Aluminium .....	12
2.2.3 Unsur – Unsur Paduan Aluminium.....	13

2.2.4 Standarisasi Aluminium .....	14
<b>2.4 Metode Pengujian Tarik</b> .....	16
2.4.1 Prinsip Pengujian .....	16
2.4.2 Perilaku Mekanik Material .....	16
<b>2.3 Metode Pengujian Kekerasan</b> .....	21
2.3.1 Metode Brinell .....	22
2.3.2 Metode Vickers .....	23
2.3.3 Metode Rockwell .....	24
<b>BAB 3. METODE PENELITIAN</b> .....	25
<b>3.1 Tempat dan Waktu Penelitian</b> .....	25
<b>3.2 Bahan dan Tempat</b> .....	25
3.2.1 Bahan .....	25
3.2.2 Alat .....	25
<b>3.3 Persiapan Penelitian</b> .....	26
<b>3.4 Proses Pengelasan</b> .....	26
<b>3.5 Pengujian</b> .....	27
3.5.1 Pengujian Tarik .....	27
3.5.2 Uji Struktur Mikro .....	29
3.5.3 Pengujian Kekerasan .....	30
<b>3.6 Diagram Alir Penelitian</b> .....	32
<b>3.6 Jadwal Kegiatan Penelitian</b> .....	33
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	34
<b>4.1 Hasil Pengelasan Friction Stir Welding</b> .....	34
<b>4.2 Hasil Uji Tarik</b> .....	35
<b>4.3 Hasil Uji Foto Makro dan Mikro</b> .....	37
4.3.1 Hasil Uji Foto Makro .....	37
4.3.2 Hasil Uji Foto Mikro .....	39
<b>4.2 Hasil Uji Kekerasan</b> .....	43

<b>BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>46</b>
<b>5.1 Kesimpulan .....</b>	<b>46</b>
<b>5.2 Saran.....</b>	<b>47</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>48</b>
<b>Lampiran .....</b>	<b>49</b>

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Prinsip linier friction welding .....	6
2.2 Prinsip friction stir welding.....	6
2.3 Gerakan tool .....	7
2.4 Strukturmikro hasil pengelasan dengan metode friction stir welding...	10
2.5 Skematis prinsip indentasi dengan metode brinell.....	15
2.6 Hasil indentasi dengan metode brinell .....	16
2.7 Skematis prinsip indentasi dengan metode vickers.....	16
2.8 Kurva tegangan regangan dari benda uji terbuat dari bahan ulet.....	20
2.8 Kurva tegangan regangan dari benda uji terbuat dari bahan getas.....	21
3.1 Skema pengujian tarik.....	27
3.2 Skema pengujian kekerasan .....	30
4.1 Hasil pengelasan <i>friction stir welding</i> .....	33
4.2 Grafik variasi putaran tool terhadap kekuatan tarik.....	34
4.3 Grafik variasi putaran tool terhadap regangan .....	35
4.4 Foto makro hasil pengelasan dengan putaran tool 780 rpm .....	36
4.5 Foto makro hasil pengelasan dengan putaran tool 980 rpm .....	37
4.6 Foto makro hasil pengelasan dengan putaran tool 1120 rpm .....	37
4.7 Struktur mikro <i>base metal</i> Aluminium AA1100, pembesaran 400x ....	38
4.8 Struktur mikro daerah <i>stir zone</i> dengan putaran <i>tool</i> 780 rpm, pembesaran 400x .....	39
4.9 Struktur mikro daerah <i>stir zone</i> dengan putaran <i>tool</i> 980 rpm, pembesaran 400x.....	39
4.10 Struktur mikro daerah <i>stir zone</i> dengan putaran <i>tool</i> 1120 rpm, pembesaran 400x .....	39
4.11 Struktur mikro daerah daerah TMAZ dan HAZ dengan putaran <i>tool</i>	

780 rpm, pembesaran 100x .....	40
4.12 Struktur mikro daerah daerah TMAZ dan HAZ dengan putaran <i>tool</i>	
980 rpm, pembesaran 100x .....	40
4.13 Struktur mikro daerah daerah TMAZ dan HAZ dengan putaran <i>tool</i>	
1120 rpm, pembesaran 100x .....	40
4.14 Struktur mikro daerah HAZ dengan putaran <i>tool</i> 780 rpm,	
pembesaran 400x .....	41
4.15 Struktur mikro daerah HAZ dengan putaran <i>tool</i> 980 rpm,	
pembesaran 400x .....	41
4.16 Struktur mikro daerah HAZ dengan putaran <i>tool</i> 1120 rpm,	
pembesaran 400x .....	41
4.16 Grafik nilai kekerasan hasil pengelasan <i>friction stir welding</i> .....	43

## DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Komposisi Aluminium AA 1100 .....	16
2.2. Skala pada Metode Uji Kekerasan Rockwell .....	25
3.1 Rancangan Perhitungan Data Uji Tarik .....	29
3.2 Rancangan Perhitungan Data Uji Kekerasan .....	31
3.3 Rencana jadwal kegiatan penelitian .....	33
4.1 Data hasil pengujian tarik.....	35
4.2 Data hasil pengujian kekerasan .....	43

## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
<b>LAMPIRAN A. PROSES FSW</b> .....	49
<b>LAMPIRAN B. HASIL PENGUJIAN TARIK</b> .....	51
<b>LAMPIRAN C. SPESIMEN PENGUJIAN</b> .....	54

## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Perkembangan dunia perindustrian saat ini mulai mempertimbangkan material aluminium sebagai bahan utama dalam proses produksi. Ini dikarenakan 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 pada dunia industri banyak digunakan untuk heat exchangers, *pressure vessels*, pipa, dll. Namun 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  $Al_2O_3$  yang mempunyai titik cair yang tinggi sehingga 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. Akan tetapi, perbedaan yang paling mendasar adalah nilai keuletan pada logam las, dimana nilai keuletan logam las baja selalu tinggi bila dibandingkan dengan logam induk, sedangkan pada aluminium nilai keuletan pada logam las cenderung lebih kecil daripada nilai keuletan pada logam induk. Seiring dengan hal tersebut maka perlu dilakukan penelitian-penelitian agar proses penyambungan aluminium menjadi lebih mudah dan memiliki kekuatan yang optimal. Proses penyambungan aluminium paduan salah satunya dapat dilakukan dengan cara pengelasan *friction stir welding*.

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. Prinsip kerja FSW adalah memanfaatkan gesekan dari benda kerja yang berputar dengan benda kerja lain yang diam sehingga mampu melelehkan benda kerja yang diam tersebut dan akhirnya tersambung menjadi satu. Proses pengelasan dengan

FSW terjadi pada kondisi padat (*solid state joining*). Proses pengelasan dengan FSW terjadi pada temperature *solvus*, sehingga tidak terjadi penurunan kekuatan akibat *over aging* dan larutnya endapan koheren. Karena temperature pengelasan tidak terlalu tinggi, maka tegangan sisa yang terbentuk dan distorsi akibat panas juga rendah. Karakteristik mekanis sambungan pada FSW ditentukan oleh parameter : kecepatan pengelasan, putaran *tool*, dan tekanan *tool*.

Beberapa contoh pengelasan jenis ini adalah pembuatan bodi mobil, sayap ataupun bodi pesawat terbang serta peralatan memasak. Penelitian *friction stir welding* masih dikembangkan, seperti variasi desain *tool*, perbaikan teknik pengelasan dan perbaikan material *tool* baru untuk dapat memperpanjang umur pakai *tool*. Pengelasan ini berhasil menekan biaya proses pengelasan menjadi lebih murah karena pengelasan hanya membutuhkan *input* energi yang rendah dan tidak menggunakan *filler metal*. Kualitas hasil pengelasan *friction stir welding* memiliki permukaan yang lebih halus dan rata dari hasil pengelasan tradisional lain, kuat dan tidak ada pori - pori yang timbul. Proses ini ramah terhadap lingkungan karena tidak ada uap atau percikan dan tidak ada silauan busur nyala pada *fusion*.

*Friction stir welding* adalah suatu metode pengelasan baru yang dapat menjadi solusi untuk masalah tersebut, karena hasil pengelasan yang menggunakan metode ini memiliki daerah HAZ yang lebih kecil sehingga cacat serta kerusakan dan kerugian dapat dikurangi.

Jarot Wijayanto dan Aghda Anelis (2010), menganalisa sifat mekanik dari hasil pengelasan dengan metode *friction stir welding* pada aluminium 6110. Pada penelitian ini menggunakan putaran mesin 3600 rpm dengan variasi kecepatan pengelasan yaitu : 40 mm/menit, 64 mm/menit, 93 mm/menit, 200 mm/menit, dan 320 mm/menit. Hasil dari penelitian ini adalah kekuatan *yield* dan kekuatan tarik sangat berbeda dengan logam induk. Hal ini dikarenakan oleh pengaruh temperature tinggi pada saat proses pengelasan. Daerah lasan (*stir zone*) mempunyai nilai kekerasan yang sangat berbeda dibandingkan dengan logam induk. *Stir zone* mempunyai kekerasan sekitar 37,5 VHN, hal ini dikarenakan pengaruh temperature tinggi pada saat proses pengelasan.

Y. Purwaningrum dan K. Setyanto (2011), meneliti komparasi sifat fisik dan mekanik sambungan las TIG (*Tungsten Inert Gas*) dan las FSW (*Friction Stir Welding*) pada aluminium tipe 1xxx. Hasil pengujian tarik, pengujian foto mikro, pengujian mikro vickers, dan pengujian impact menunjukkan bahwa las FSW memiliki ketangguhan yang tinggi dibanding dengan las TIG dimana nilai ketangguhan las FSW 0,854 J/mm<sup>2</sup>, dan las TIG 0,233 J/mm<sup>2</sup>.

P. Biswas dan N. R. Mandal (2011), meneliti secara tiga dimensi dengan metode elemen hingga dan secara eksperimental. Analisa dilakukan dengan parameter *tool* dan proses yang berbeda. Sumber panas diasumsikan murni akibat gesekan antara *tool* dan permukaan benda kerja. Pada FSW ini *tool* yang digunakan terbuat dari SS 310 dan material yang akan dilas adalah AA 1100. *Tool* dengan geometri shoulder cekung dan pin berbentuk kerucut menghasilkan lasan yang lebih baik untuk AA 1100.

## 1.2. Perumusan Masalah

Permasalahan utama yang penting dikaji dalam penelitian ini adalah

1. Bagaimana kekuatan Aluminium 1100 pada hasil pengelasan dengan metode *friction stir welding* ?
2. Bagaimana kekerasan Aluminium 1100 pada hasil pengelasan dengan metode *friction stir welding* ?
3. Bagaimana pengaruh struktur mikro Aluminium 1100 pada hasil pengelasan dengan metode *friction stir welding* ?

## 1.3. Tujuan dan Manfaat

### 1.3.1 Tujuan

Tujuan dalam penelitian ini nantinya diharapkan dapat mengetahui beberapa hal sebagai berikut:

- a. Mengukur kekuatan tarik pada hasil proses pengelasan menggunakan metode *friction stir welding*

- b. Mengetahui perbedaan kekerasan pada base metal, HAZ, TMAZ dan stir zone
- c. Melihat struktur mikro pada proses hasil pengelasan dengan metode *friction stir welding*

#### 1.3.2 Manfaat

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah,

- a. Memberikan informasi kepada dunia industry tentang proses pengelasan alternative yang lebih murah tetapi memiliki sifat mekanik yang sesuai dengan standart
- b. Bagi peneliti penelitian ini merupakan sarana untuk melatih diri agar bertambah pengetahuan serta ketrampilan dalam melakukan penelitian.

#### 1.4. Batasan Masalah

Pembatasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Metode pengelasan *friction stir welding* dengan menggunakan mesin milling.
- b. Tipe sambungan las butt joint
- c. Tegangan sisa diabaikan
- d. Tekanan tool pada benda kerja diasumsikan konstan
- e. Material yang dilas adalah plat aluminium 1100 dengan ketebalan 4 mm
- f. Pengujian sifat mekanik meliputi uji tarik, uji kekerasan dan uji struktur mikro

## **BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1 Pengelasan**

Berdasarkan pengertian dari *Deutche Industrie Normen* (DIN), las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan cair. Penggolongan jenis las menurut cara kerjanya dibagi dalam:

#### 1. Pengelasan cair

Cara pengelasan dimana sambungan dipanaskan sampai mencair dengan sumber panas dari busur listrik atau semburan api gas yang terbakar.

#### 2. Pengelasan tekan

Pengelasan dimana sambungan dipanaskan dan kemudian ditekan hingga menjadi satu.

#### 3. Pematrian

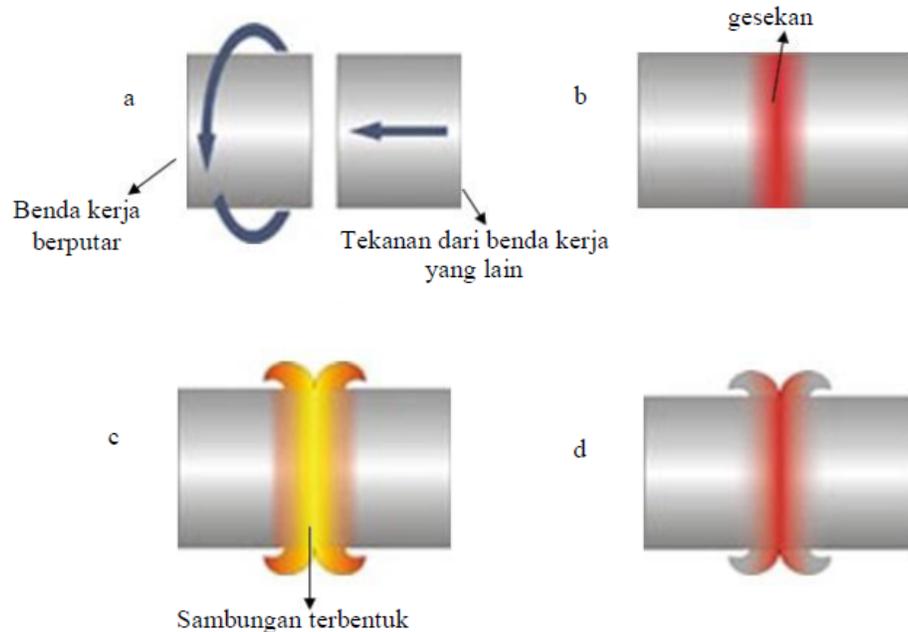
Pengelasan dimana sambungan diikat dan disatukan dengan menggunakan paduan logam yang mempunyai titik cair rendah, logam induk tidak ikut mencair.

#### **2.1.1 *Linier Friction Welding***

Las gesek dengan sumber panas berasal dari gesekan kedua permukaan benda kerja itu sendiri. Metode las gesek yang memanfaatkan gesekan langsung antara dua permukaan benda kerja yang akan dilas. Mekanisme pengerjaannya ditunjukkan pada Gambar 2.1.

- a) Terdapat dua bagian benda kerja, salah satu benda kerja berputar relative dengan kecepatan tertentu terhadap benda kerja yang lainnya dimana benda kerja yang satunya memberikan tekanan.
- b) Gesekan antara kedua permukaan akan menghasilkan panas yang akan melelehkan ujung permukaan benda kerja.
- c) Tekanan terus diberikan hingga lelehan kedua permukaan menyatu dan membentuk sambungan.

- d) Jika kedua permukaan telah menyatu, putaran dihentikan dan pada sisi tekan diberikan tekanan tambahan untuk mengasalkan sambungan yang sempurna.



Gambar 2.1 Prinsip kerja *linier friction welding*

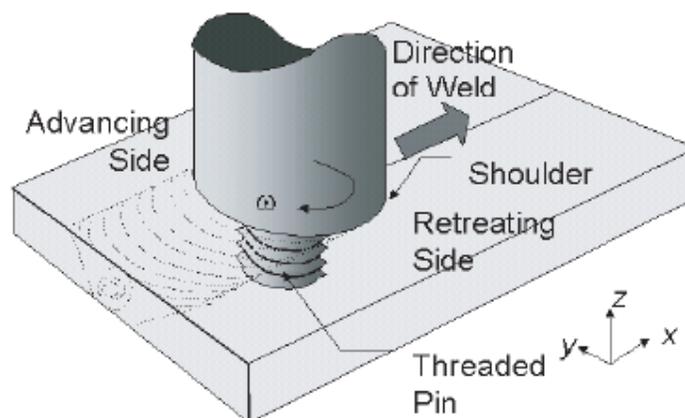
### 2.1.2 Friction Stir Welding

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. 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.

Prinsip *friction stir welding* yang ditunjukkan pada Gambar 2.2 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 di satukan. 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. 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.

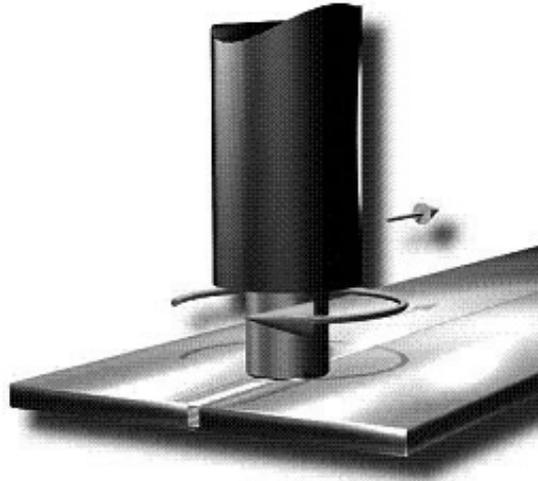


Gambar 2.2 Prinsip *friction stir welding*

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

### 1. 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 2.3.



Gambar 2.3 Gerakan *Tool*

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

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. 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.

## 2. *Plunge depth dan Tekanan Tool*

*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 di tekan dari atas oleh *shoulder* dan di tahan 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.

## 3. *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.

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.

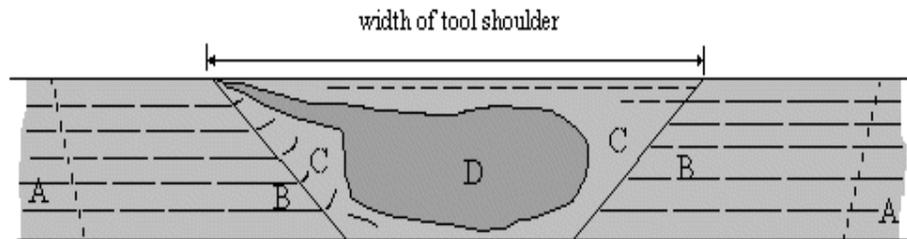
Desain *tool* terdiri dari *shoulder* dan *pin*. *Pin* berfungsi untuk menghasilkan panas dan menggerakkan material yang sedang dilas. *Shoulder* memiliki beberapa fungsi antara lain:

1. Sebagai pelindung dari kemungkinan masuknya suatu material berbeda.
2. *Shoulder* yang berdiameter lebih besar, berperan untuk mempertahankan dan menjaga agar material *plasticised* tidak keluar dari daerah las.
3. *Shoulder* memberi tekanan ke bawah yang memberi efek tempa pada lasan.
4. *Shoulder* juga menyediakan *input* panas tambahan, karena luas permukaan yang bergesekan dengan material las lebih besar maka panas yang dihasilkan juga lebih besar.

#### 4. Strukturmikro Hasil Pengelasan

Strukturmikro hasil pengelasan *friction stir welding* yang terdiri dari daerah bagian adukan (*stir zone*), bagian pengaruh panas secara termomekanik (*thermomechanical affected zone*) dan bagian pengaruh panas (*heat affected zone*). Bagian adukan (*stir zone*) mengalami laju tegangan dan regangan tertinggi serta temperatur yang tinggi. Kombinasi ini menyebabkan bagian ini terjadi rekristalisasi dinamik. Strukturmikro bagian adukan ini sangat tergantung pada bentuk perkakas las, kecepatan rotasi dan translasi, tekanan dan karakteristik bahan yang akan disambung. Disamping itu, bagian ini juga merupakan bagian yang terdeformasi. Pada bagian pengaruh panas secara termomekanik (*thermomechanical affected zone*) terjadi pengkasaran penguat presipitat tetapi tidak ada rekristalisasi dinamik. Sedangkan panas pada bagian pengaruh panas (*heat affected zone*) selama pengelasan

panasnya hanya menumbuhkan butir-butir saja. Bagian – bagian pengelasan dengan metode friction stir welding ini akan dijelaskan pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Strukturmikro 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*.

## 2.2 Klasifikasi Aluminium dan Paduannya

Material aluminium merupakan logam kedua setelah baja yang digunakan dalam konstruksi dan manufaktur, oleh sebab itu logam non ferrous yang dijelaskan pada kesempatan ini adalah logam aluminium.

### 2.2.1 Pengertian Dasar Aluminium

Aluminium merupakan logam ringan yang mempunyai ketahanan korosi yang baik dan hantaran listrik serta sifat-sifat yang baik lainnya sebagai sifat logam. Adanya penambahan Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Ni, dan sebagainya akan meningkatkan kekuatan mekanik Aluminium (Tata Surdia, 1999). Paduan Aluminium dapat digolongkan menjadi beberapa kelompok utama, yaitu:

#### 1. Paduan Aluminium Tempa (*Aluminium Wrought Alloy*)

Paduan ini dibuat untuk dikerjakan dengan proses *forming* untuk menghasilkan bentuk yang diinginkan seperti pelat, lembaran, atau kawat.

#### 2. Paduan Aluminium Cor (*Aluminium Casting Alloy*)

Pada paduan ini, bentuk benda yang diinginkan diperoleh dari logam cair yang dituang pada cetakan dengan bentuk yang diinginkan dan dibiarkan membeku, sehingga didapatkan produk yang mendekati bentuk aslinya untuk kemudian di-*finishing*.

### 3. Paduan aluminium yang dapat diberi perlakuan panas (*Heat-Treatable Aluminium Alloy*)

Pada paduan ini ditambahkan beberapa elemen untuk memperkuat aluminium, elemen yang ditambahkan biasanya *copper* (seri 2xxx), magnesium dan silikon (seri 6xxx) dan *zinc* (seri 7xxx) dalam hal ini material dipanaskan antara 900-10500F tergantung dari paduannya dan kekuatan paduannya tergantung pada pemanasan, *quenching* dan *artificial aging*.

### 4. Paduan aluminium yang tidak dapat diberi perlakuan panas (*Non-Heat –Treatable Aluminium Alloy*)

Pada paduan ini ditambahkan beberapa elemen untuk memperkuat paduan aluminium dan ada yang murni aluminium (seri 1xxx), elemen yang ditambahkan pada jenis paduan ini adalah mangan (seri 3xxx), silikon (4xxx), magnesium (5xxx) dalam meningkatkan kekuatan dari paduan aluminium ini dilakukan dengan memvariasikan suhu dari *cold working* (pendinginan) atau *strain hardening*.

#### 2.2.2 Sifat – sifat Aluminium (Al)

Aluminium berwarna putih kebiru – biruan, lebih keras dari timah putih, tetapi lebih lunak dari pada seng. Aluminium mempunyai kekuatan tarik sebesar 10 kg/mm, dan untuk memperbaiki sifat mekanis dari bahan logam aluminium, bahan aluminium ditambah unsur paduan.

Logam aluminium mempunyai karakteristik tersendiri dibandingkan dengan logam lain diantaranya adalah :

1. Permukaan mengkilap (3 kali lebih mengkilap dari pada besi)
2. Tahan korosi (terdapat lapisan oksida)
3. Mempunyai kekuatan yang tinggi
4. Mudah dibentuk
5. Melting point rendah
6. Penghantar panas dan arus yang baik
7. Aluminium semakin tangguh pada suhu rendah

8. Tidak beracun
9. Kecepatan rambat panas tinggi

Dalam hal pengelasan paduan aluminium mempunyai sifat yang kurang baik diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Karena panas jenis dan daya hantar panasnya tinggi maka sulit untuk memanaskan dan mencairkan sebagian kecil.
2. Aluminium mempunyai titik cair dan viskositas yang rendah, maka daerah yang terkena pemanasan mudah mencair dan menetes.
3. Paduan aluminium mudah sekali teroksidasi dan membentuk oksida aluminium yang mempunyai titik cair tinggi. Karena sifat ini maka peleburan antara logam dasar dengan logam las menjadi terhalang.
4. Karena perbedaan yang tinggi antara kelarutan hidrogen dalam logam cair dan logam padat, maka dalam proses pembekuan yang terlalu cepat akan terbentuk rongga halus bekas kantong-kantong hidrogen.
5. Paduan aluminium mempunyai berat jenis yang rendah karena itu banyak zat-zat lain yang terbentuk selama pengelasan akan tenggelam. Keadaan ini memudahkan terkandungnya zat-zat yang tidak dikehendaki kedalamnya.

### 2.2.3 Unsur – Unsur Paduan Logam Aluminium

- a. Besi (Fe) : Penambahan unsur besi pada aluminium dapat mengurangi terjadinya keretakan panas.
- b. Manganase (Mn) : Aluminium yang ditambahi unsur mangan dapat memperbaiki ductility pada logam aluminium.
- c. Silicon : Penambahan unsur silicon akan mempengaruhi aluminium tahan terhadap korosi tetapi sulit dimachining.
- d. Copper : Unsur copper dapat mempengaruhi logam aluminium mudah dimachining.
- e. Magnesium : Penambahan unsur magnesium pada logam aluminium akan memperbaiki sifat kekuatan, tetapi sulit pada pekerjaan proses penuangan.

- f. Zinc : Penambahan unsur seng akan memperbaiki sifat logam aluminium tahan terhadap korosi dan mengurangi terjadinya keretakan panas dan pengerutan.

#### 2.2.4 Standarisasi Aluminium

Standarisasi aluminium digunakan untuk menggolongkan logam aluminium paduan berdasarkan komposisi kimia, penetapan standarisasi logam aluminium menurut *American Society for Materials* (ASTM) mempergunakan angka dalam menetapkan penggolongan aluminium paduan.

Adapun cara – cara yang ditentukan ASTM dalam menetapkan penggolongan aluminium. Sifat umum dari beberapa jenis paduan sebagai berikut:

1. Aluminium murni (kandungan aluminium sebesar 99%) 1xxx
  - a. Memiliki kemurnian antara 99.0% dan 99.9%
  - b. Tahan karat
  - c. Konduksi panas dan konduksi listrik
  - d. Memiliki kekuatan yang rendah.
2. Copper (Al-Cu) 2xxx
  - a. Tahan korosinya rendah
  - b. Sifat mampu lasnya kurang baik, sehingga banyak digunakan pada konstruksi keling, pesawat terbang.
3. Manganase (Al-Mn) 3xxx
  - a. Tidak dapat diperlakukan panas sehingga menaikkan kekuatan hanya dapat diusahakan melalui pengerjaan dingin dalam proses pembuatannya
  - b. Tahan korosi
  - c. Sifat potong dan sifat mampu lasnya
  - d. Memiliki kekuatan yang tinggi.
4. Silicon (Al-Si) 4xxx
  - a. Tidak dapat diperlakukan panas

- b. Jika dalam keadaan cair mempunyai sifat mampu alir yang baik dan dalam proses pembekuannya tidak terjadi retak.
5. Magnesium (Al-Mg) 5xxx
    - a. Tidak dapat diperlakukan panas
    - b. Tahan korosi terutama korosi oleh air laut
    - c. Memiliki sifat mampu lasnya yang baik
  6. Magnesium dan silicon (Al-Mg-Si) 6xxx
    - a. Dapat diperlakukan panas
    - b. Memiliki sifat mampu potong
    - c. Memiliki sifat mampu las
    - d. Daya tahan korosi yang cukup
  7. Zinc (Al-Zn) 7xxx
    - a. Dapat diperlakukan panas
    - b. Unsur yang ditambahkan pada paduan ini adalah Mg,Cu dan Cr.
    - c. Tahan korosi
  8. Elemen – elemen yang lain 8xxx

Pada penelitian ini logam aluminium yang digunakan adalah aluminium seri 1xxx yaitu AA 1100. Aluminium ini dikenal sebagai aluminium yang memiliki ketahanan korosi yang sangat bagus, konduktivitas listrik serta sifat mampu bentuk yang baik. Aluminium AA 1100 ini biasanya digunakan untuk pembuatan pelat nama, *heat exchanger*, kemasan bahan kimia dan berbagai jenis makanan, berbagai peralatan penyimpanan serta perakitan komponen pengelasan lainnya (Wright Metal, 2005). Adapun komposisi kimia aluminium AA 1100 ditunjukkan pada tabel 2.1 dibawah ini.

Tabel 2.1 Komposisi Aluminium AA 1100 berdasarkan *Actual Mill Chemical and Mechanical Property Test Report In Imperial Nomenclature*

%Si	%Fe	%Cu	%Mn	%Mg	%Ti	%Zn	%Al	UTS (N/mm <sup>2</sup> )	Elong (%)
0,14	0,56	0,08	0,01	0,01	0,01	0,02	99,08	119,5	10

### 2.3 Metode Pengujian Tarik

Tujuan dari dilakukannya suatu *pengujian mekanis* adalah untuk menentukan *respon material* dari suatu konstruksi, komponen atau rakitan fabrikasi pada saat dikenakan *beban* atau *deformasi* dari *luar*. Dalam hal ini akan ditentukan seberapa jauh *perilaku inheren* (sifat yang lebih merupakan ketergantungan atas fenomena atomik maupun mikroskopis dan bukan dipengaruhi bentuk atau ukuran benda uji) dari material terhadap pembebanan tersebut. Di antara semua pengujian mekanis tersebut, pengujian tarik merupakan jenis pengujian yang paling banyak dilakukan karena mampu memberikan informasi representatif dari perilaku mekanis material.

#### 2.3.1 Prinsip Pengujian

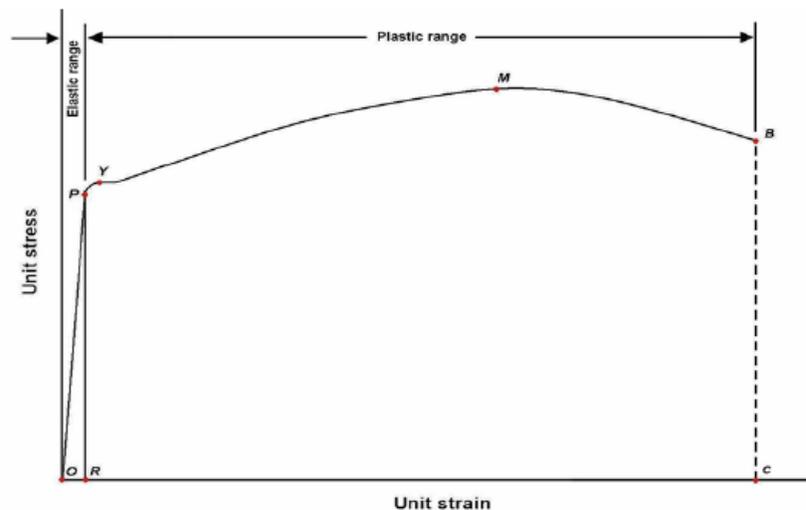
Sampel atau benda uji dengan ukuran dan bentuk tertentu ditarik dengan beban kontinyu sambil diukur pertambahan panjangnya. Data yang didapat berupa perubahan panjang dan perubahan beban yang selanjutnya ditampilkan dalam bentuk grafik tegangan-regangan, sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 2.5. Data-data penting yang diharapkan didapat dari pengujian tarik ini adalah: perilaku mekanik material dan karakteristik perpatahan.

#### 2.3.2 Perilaku Mekanik Material

Pengujian tarik yang dilakukan pada suatu material padatan (logam dan nonlogam) dapat memberikan keterangan yang relatif lengkap mengenai perilaku material tersebut terhadap pembebanan mekanis. Informasi penting yang bisa didapat adalah:

a. Batas proporsionalitas (*proportionality limit*)

Merupakan daerah batas dimana tegangan dan regangan mempunyai hubungan proporsionalitas satu dengan lainnya. Setiap penambahan tegangan akan diikuti dengan penambahan regangan secara proporsional dalam hubungan linier  $\sigma = E \epsilon$  (bandingkan dengan hubungan  $y = mx$ ; dimana  $y$  mewakili tegangan;  $x$  mewakili regangan dan  $m$  mewakili slope kemiringan dari modulus kekakuan). Titik P pada Gambar 2.5 di bawah ini menunjukkan batas proporsionalitas dari kurva tegangan-regangan.



Gambar 2.5. Kurva tegangan-regangan dari sebuah benda uji terbuat baja ulet

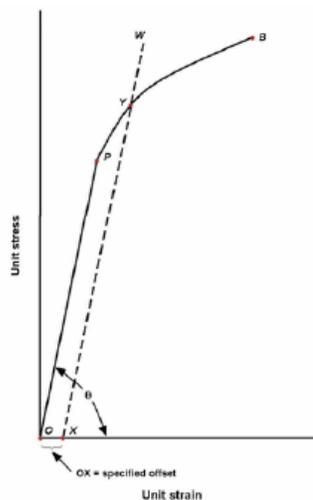
Sumber: Universitas Indonesia. 2009. Yuwono A, H. *Buku Panduan Praktikum Karakterisasi Material 1 Pengujian Merusak (Destructive Testing)*. Departemen Metalurgi Dan Material Fakultas Teknik

b. Batas elastis (*elastic limit*)

Daerah elastis adalah daerah dimana bahan akan kembali kepada panjang semula bila tegangan luar dihilangkan. Daerah proporsionalitas merupakan bahagian dari batas elastik ini. Selanjutnya bila bahan terus diberikan tegangan (deformasi dari luar) akan menyebabkan terjadinya deformasi permanen (plastis) pertama kalinya. Kebanyakan material teknik memiliki batas elastis yang hampir berimpitan dengan batas proporsionalitasnya.

c. Titik luluh (*yield point*) dan kekuatan luluh (*yield strength*)

Titik ini merupakan suatu batas dimana material akan terus mengalami deformasi tanpa adanya penambahan beban. Tegangan (*stress*) yang mengakibatkan bahan menunjukkan mekanisme luluh ini disebut *tegangan luluh (yield stress)*. Titik luluh ditunjukkan oleh titik Y pada Gambar 2.5 di atas. Gejala luluh umumnya hanya ditunjukkan oleh logam-logam ulet dengan struktur Kristal BCC dan FCC yang membentuk interstitial solid solution dari atom-atom carbon, boron, hidrogen dan oksigen. Interaksi antara dislokasi dan atom-atom tersebut menyebabkan baja ulet seperti mild steel menunjukkan titik luluh bawah (*lower yield point*) dan titik luluh atas (*upper yield point*). Baja berkekuatan tinggi dan besi tuang yang getas umumnya tidak memperlihatkan batas luluh yang jelas. Untuk menentukan kekuatan luluh material seperti ini maka digunakan suatu yang dikenal sebagai *Metode Offset*. Dengan metode ini *kekuatan luluh (yield strength)* ditentukan sebagai tegangan dimana bahan memperlihatkan batas penyimpangan/deviasi tertentu dari proporsionalitas tegangan dan regangan. Pada Gambar 2.6 di bawah ini garis offset OX ditarik paralel dengan OP, sehingga perpotongan XW dan kurva tegangan regangan memberikan titik Y sebagai kekuatan luluh. Umumnya garis offset OX diambil 0.1 – 0.2% dari regangan total dimulai dari titik O.



Gambar 2.6. Kurva tegangan-regangan dari sebuah benda uji terbuat dari bahan getas

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

Kekuatan luluh atau titik luluh merupakan suatu gambaran kemampuan bahan menahan deformasi permanen bila digunakan dalam penggunaan struktural yang melibatkan pembebanan mekanik seperti tarik, tekan bending atau puntiran. Di sisi lain, batas luluh ini harus dicapai ataupun dilewati bila bahan (logam) dipakai dalam proses manufaktur produk- produk logam seperti proses *rolling*, *drawing*, *stretching* dan sebagainya. Dapat dikatakan bahwa titik luluh adalah suatu tingkat tegangan yang:

- Tidak boleh dilewati dalam penggunaan struktural (*in service*)
- Harus dilewati dalam proses manufaktur logam (*forming process*)

d. Kekuatan tarik maksimum (*ultimate tensile strength*)

Merupakan tegangan maksimum yang dapat ditanggung oleh material sebelum terjadinya perpatahan (*fracture*). Nilai kekuatan tarik maksimum *uts* ditentukan dari beban maksimum *Fmaks* dibagi luas penampang awal *Ao*.

$$UTS = \frac{F_{maks}}{A_o} \quad (2.1)$$

Pada bahan ulet tegangan maksimum ini ditunjukkan oleh titik M (Gambar 2.5) dan selanjutnya bahan akan terus berdeformasi hingga titik B. Bahan yang bersifat getas memberikan perilaku yang berbeda dimana tegangan maksimum sekaligus tegangan perpatahan (titik B pada Gambar 2.5). Dalam kaitannya dengan penggunaan structural maupun dalam proses forming bahan, kekuatan maksimum adalah batas tegangan yang sama sekali tidak boleh dilewati.

e. Kekuatan Putus (*breaking strength*)

Kekuatan putus ditentukan dengan membagi beban pada saat benda uji putus ( $F_{breaking}$ ) dengan luas penampang awal  $A_o$ . Untuk bahan yang bersifat ulet pada saat

beban maksimum M terlampaui dan bahan terus terdeformasi hingga titik putus B maka terjadi mekanisme (*necking*) sebagai akibat adanya suatu deformasi yang terlokalisasi. Pada bahan ulet kekuatan putus adalah lebih kecil daripada kekuatan maksimum sementara pada bahan getas kekuatan putus adalah sama dengan kekuatan maksimumnya.

f. Keuletan (*ductility*)

Keuletan merupakan suatu sifat yang menggambarkan kemampuan logam menahan deformasi hingga terjadinya perpatahan. Sifat ini, dalam beberapa tingkatan, harus dimiliki oleh bahan bila ingin dibentuk (*forming*) melalui proses *rolling*, *bending*, *stretching*, *drawing*, *hammering*, *cutting* dan sebagainya. Pengujian tarik memberikan dua metode pengukuran keuletan bahan yaitu:

- Persentase perpanjangan (*elongation*)

Diukur sebagai penambahan panjang ukur setelah perpatahan terhadap panjang.

$$\text{Elongasi, } (\%) = [(L_f - L_o)/L_o] \times 100\% \quad (2.2)$$

dimana  $L_f$  adalah panjang akhir dan  $L_o$  panjang awal dari benda uji.

- Persentase pengurangan/reduksi penampang (*Area Reduction*)

Diukur sebagai pengurangan luas penampang (cross-section) setelah perpatahan terhadap luas penampang awalnya.

$$\text{Reduksi penampang, } R (\%) = [(A_o - A_f)/A_o] \times 100\% \quad (2.3)$$

dimana  $A_f$  adalah luas penampang akhir dan  $A_o$  luas penampang awal.

g. Modulus elastisitas ( $E$ )

Modulus elastisitas atau modulus Young merupakan ukuran kekakuan suatu material. Semakin besar harga modulus ini maka semakin kecil regangan elastis yang terjadi pada suatu tingkat pembebanan tertentu, atau dapat dikatakan material tersebut

semakin kaku (*stiff*). Pada grafik tegangan-regangan (Gambar 2.5 dan 2.6), modulus kekakuan tersebut dapat dihitung dari slope kemiringan garis elastis yang linier, diberikan oleh:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \text{ atau } E = \frac{F}{\Delta L} \quad (2.4)$$

Dimana  $\theta$  adalah sudut yang dibentuk oleh daerah elastis kurva tegangan-regangan. Modulus elastisitas suatu material ditentukan oleh energi ikat antar atom-atom, sehingga besarnya nilai modulus ini tidak dapat dirubah oleh suatu proses tanpa merubah struktur bahan.

## 2.4 Metode Pengujian Kekerasan

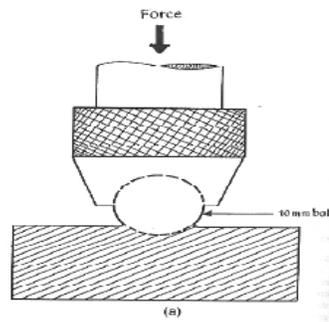
Dalam engineering yang menyangkut logam, kekekerasan sering dinyatakan sebagai kemampuan untuk menahan identasi/penetrasi/abrasi. Ada beberapa cara pengujian kekerasan yang terstandar yang digunakan untuk menguji kekerasan logam, pengujian Brinell, Rockwell, Vickers dan lain-lain.

### a. Metode Brinell

Metode ini diperkenalkan pertama kali oleh J.A. Brinell pada tahun 1900. Pengujian kekerasan dilakukan dengan memakai bola baja yang diperkeras (*hardened steel ball*) dengan beban dan waktu indentasi tertentu, sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 2.7. Hasil penekanan adalah jejak berbentuk lingkaran bulat, yang harus dihitung diameternya di bawah mikroskop khusus pengukur jejak. Contoh pengukuran hasil penjeakan diberikan oleh Gambar 2.7. Pengukuran nilai kekerasan suatu material diberikan oleh rumus:

$$BHN = \frac{2P}{(\pi D)(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (2.5)$$

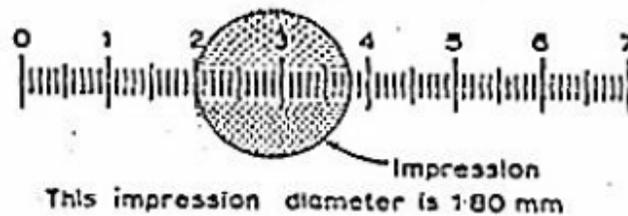
dimana,  $P$  adalah beban (kg),  $D$  diameter indenter (mm) dan  $d$  diameter jejak (mm).



Gambar 2.7. Skematis prinsip indentasi dengan metode Brinell

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

Prosedur standar pengujian mensyaratkan bola baja dengan diameter 10 mm dan beban 3000 kg untuk pengujian logam-logam ferrous, atau 500 kg untuk logam-logam non-ferrous. Untuk logam-logam ferrous, waktu indentasi biasanya sekitar 10 detik sementara untuk logam-logam non-ferrous sekitar 30 detik. Walaupun demikian pengaturan beban dan waktu indentasi untuk setiap material dapat pula ditentukan oleh karakteristik alat penguji. Nilai kekerasan suatu material yang dinotasikan dengan 'HB' tanpa tambahan angka di belakangnya menyatakan kondisi pengujian standar dengan indenter bola baja 10 mm, beban 3000 kg selama waktu 1—15 detik. Untuk kondisi yang lain, nilai kekerasan HB diikuti angka-angka yang menyatakan kondisi pengujian. Contoh: 75 HB 10/500/30 menyatakan nilai kekerasan Brinell sebesar 75 dihasilkan oleh suatu pengujian dengan indenter 10 mm, pembebanan 500 kg selama 30 detik. Gambar 2.8 menunjukkan hasil indentasi brinell yang berbentuk lingkaran dalam skala mm.



Gambar 2.7. Hasil indentasi Brinell berupa jejak berbentuk lingkaran dengan ukuran diameter dalam skala mm.

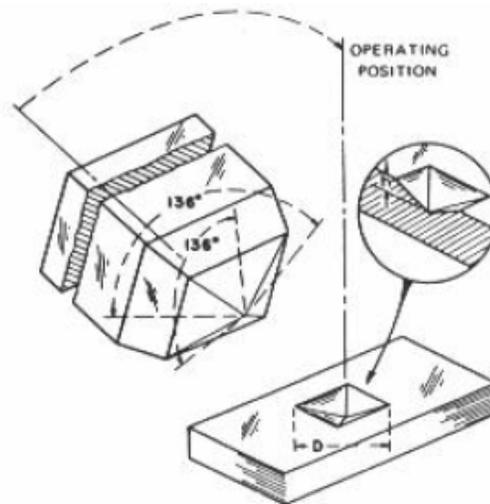
Sumber: Universitas Indonesia. 2009. Yuwono A, H. *Buku Panduan Praktikum Karakterisasi Material 1 Pengujian Merusak (Destructive Testing)*. Departemen Metalurgi Dan Material Fakultas Teknik

#### b. Metode Vickers

Pada metode ini digunakan indenter intan berbentuk piramida dengan sudut  $136^\circ$ , seperti diperlihatkan oleh Gambar 2.9. Prinsip pengujian adalah sama dengan metode Brinell, walaupun jejak yang dihasilkan berbentuk bujur sangkar berdiagonal. Panjang diagonal diukur dengan skala pada mikroskop pengukur jejak. Nilai kekerasan suatu material diberikan oleh:

$$VHN = \frac{1.854 P}{d^2} \quad (2.6)$$

dimana  $d$  adalah panjang diagonal rata-rata dari jejak berbentuk bujur sangkar.



Gambar 2.8. Skematis prinsip indentasi dengan metode vickers

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

### c. Metode Rockwell

Berbeda dengan metode Brinell dan Vickers dimana kekerasan suatu bahan dinilai dari diameter/diagonal jejak yang dihasilkan maka metode Rockwell merupakan uji kekerasan dengan pembacaan langsung (*direct-reading*). Metode ini banyak dipakai dalam industry karena pertimbangan praktis. Variasi dalam beban dan indentor yang digunakan membuat metode ini memiliki banyak macamnya. Metode yang paling umum dipakai adalah Rockwell B (dengan indentor bola baja berdiameter 1/6 inci dan beban 100 kg) dan Rockwell C (dengan indentor intan dengan beban 150 kg). Walaupun demikian metode Rockwell lainnya juga biasa dipakai. Oleh karenanya skala kekerasan Rockwell suatu material harus dispesifikasikan dengan jelas. Contohnya 82 HRB, yang menyatakan material diukur dengan skala B: indentor 1/6 inci dan beban 100 kg. Berikut ini diberikan Tabel 2.2. yang memperlihatkan perbedaan skala dan range uji dalam skala Rockwell:

Tabel 2.2. 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	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	1/8" ball	Cast iron, aluminum and magnesium alloys
F	60	1/16" ball	Annealed brass and copper
G	150	1/16" ball	Beryllium copper, phosphor bronze, etc.
H	60	1/8" ball	Aluminum sheet
K	150	1/8" ball	Cast iron, aluminum alloys
L	60	1/4" ball	Plastics and soft metals such as lead
M	100	1/4" ball	Same as L scale
P	150	1/4" ball	Same as L scale
R	60	1/2" ball	Same as L scale
S	100	1/2" ball	Same as L scale
V	150	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

## **BAB 3. METODE PENELITIAN**

### **3.1 Tempat dan Waktu Penelitian**

Penelitian ini meliputi dua kegiatan utama yaitu pembuatan dan pengujian. Untuk pembuatan dan pengujian keduanya dilakukan di Laboratorium Permesinan, Laboratorium Desain dan Uji Bahan, Fakultas Teknik, Universitas Jember, Laboratorium Uji Bahan Universitas Brawijaya. Waktu penelitian 1 Juni 2011 - 17 Februari 2012.

### **3.2 Bahan dan Alat**

#### **3.2.1 Bahan**

- Aluminium 1100 dengan ketebalan 4 mm
- Tool Stainless Steel

#### **3.2.2 Alat**

Peralatan yang digunakan dalam pengujian ini adalah sebagai berikut:

##### **a. Amplas**

Amplas digunakan untuk menghaluskan dan meratakan permukaan benda uji sebelum penelitian (khususnya untuk pengujian struktur mikro).

##### **b. Bahan Etsa**

Bahan etsa digunakan untuk membuat struktur permukaan benda tampak jelas. Mengetsas adalah merusak permukaan benda uji dengan cairan tertentu yang sesuai, sehingga strukturnya terlihat dengan jelas.

##### **c. Resin dan Hardener**

Resin dan hardener adalah bahan kimia yang digunakan untuk membuat pegangan pada benda uji waktu pengujian kekerasan dan metalografi.

##### **d. Gergaji**

Gergaji digunakan untuk memotong plat (benda kerja) sesuai dengan ukuran yang diinginkan.

- e. Penggaris
- f. Gerinda
- g. Mesin Milling
- h. Alat Uji Tarik
- i. Alat Uji Kekerasan
- j. Alat Uji Struktur Mikro

### 3.3 Persiapan Penelitian

Berikut adalah langkah – langkah dalam proses pembuatan spesimen dan pengujian.

1. Menyiapkan alat dan bahan yang diperlukan.
2. Membersihkan permukaan benda kerja yang akan dilas dengan kertas gosok kemudian cucilah dengan sabun dan air lalu keringkan.
3. Meletakkan benda kerja yang sesuai di atas meja mesin milling
4. Posisi benda kerja saling bersinggungan satu sama lain
5. Atur putaran tool pada mesin milling vertikal.
6. Atur plunge dept pada benda kerja, yaitu 0,2 mm.
7. Proses pengelasan Friction Stir Welding.
8. Membersihkan benda kerja.
9. Setelah proses pengelasan FSW selesai maka dilakukan proses pembuatan spesimen untuk pengujian.
10. Pengujian tarik
11. Pengujian kekerasan
12. Dilakukan pengujian *Metalography* (stuktur mikro).
13. kesimpulan dari hasil penelitian.

### 3.4 Proses Pengelasan

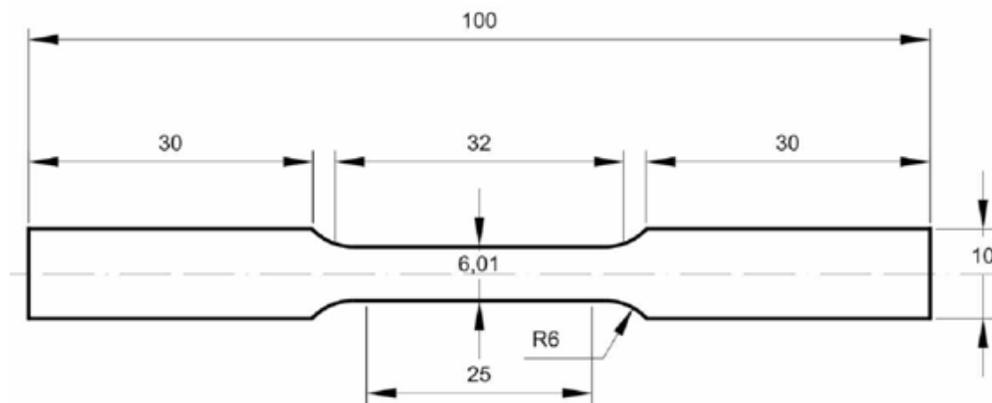
Proses pengelasan pada penelitian ini dilakukan dengan metode FSW, dengan menggunakan parameter-parameter yang telah ditentukan.

1. Bahan Aluminium 1100 dengan tebal 4 mm

2. Tool Stainless Stell
3. Diameter Shoulder 18 mm, diameter pin 6 mm, dan panjang pin 3,2 mm.
4. Mesin milling vertikal.
5. Putaran Pahat 780, 980, dan 1120 rpm
6. Feed Rate 15 mm/s

### 3.5.1 Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan pada spesimen hasil pengelasan. Spesimen yang digunakan untuk uji tarik dibuat menurut standard ASTM 557M - 02a (*Standard Test Methods of Tension Testing Wrought and Cast Aluminum- and Magnesium-Alloy Products (Metric)*). Skema pengujian tarik diperlihatkan pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Skema pengujian tarik

Dari pengujian tarik ini didapat grafik tegangan vs regangan. Tegangan ( ) didapat dengan menggunakan rumus:

$$\sigma = \frac{F}{A_o} \quad (3.1)$$

$F$  : beban yang diberikan (N)

$A_o$  : luas penampang bahan sebelum dibebani (mm<sup>2</sup>)



Keterangan :

- $L$  : panjang mula-mula (mm)
- $L$  : panjang spesimen setelah uji tarik (mm)
- $P$  : gaya tarik (kg)
- $E$  : modulus elastisitas ( $\text{kg}/\text{mm}^2$ )
- : regangan (tanpa satuan)
- : tegangan (N/m)

### 3.5.2 Uji Struktur Mikro

Untuk uji struktur mikro, langkah-langkah pengujiannya adalah sebagai berikut :

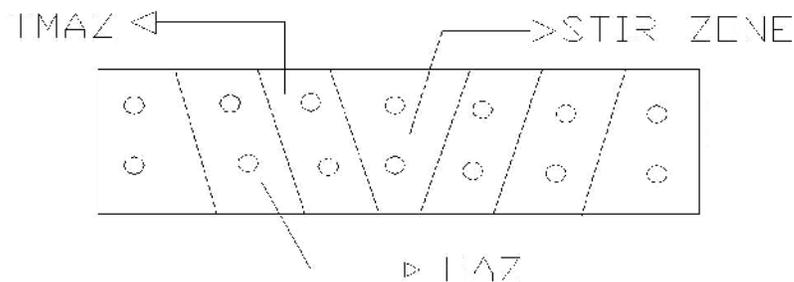
- a. Spesimen dipotong sesuai kebutuhan
- b. *Mounting* spesimen dengan cara :
  - Gergaji paralon  $\varnothing$  3/4 in panjang 1.5 cm
  - Tutup paralon yang sudah terpotong dengan isolasi pada salah satu sisinya
  - Letakkan spesimen di dalam paralon dan lekat dengan isolasi
  - Tengadahkan paralon sehingga terbuka di bagian atas
  - Campurlah resin dengan hardener
  - Tuangkan resin tersebut ke dalam paralon dan biarkan sampai mengering
  - Keluarkan hasil cetakan resin itu dengan mengergaji paralon
- c. Haluskan spesimen yang sudah *dimounting* dengan kertas amplas secara bertahap dari grade yang kasar sampai yang halus.
- d. Lihat spesimen apa sudah betul-betul rata bila belum ulangi gosok dengan kertas ampelas yang halus.
- e. Spesimen kemudian dipoles dengan kain beludru yang diletakan pada mesin ampelas, dan beri Alumina sampai tidak ada goresan.
- f. Kemudian spesimen bersihkan dengan air lalu alkohol.

- g. Etsa spesimen dengan cairan etsa yaitu dengan perbandingan 1 : 2 antara HF dengan alcohol, celup selama 60 detik, lalu basuh dengan air dan keringkan.
- h. Amati struktur mikro spesimen dengan mikroskop.
- i. Rekam hasil pengamatan anda di komputer dan catat hasil perbesarannya.

### 3.5.3 Pengujian Kekerasan

#### Uji Kekerasan Brinell

Uji kekerasan Brinell menggunakan indenter dengan memakai bola baja yang diperkeras (*hardened steel ball*) dengan beban dan waktu indentasi tertentu, dengan indenter bola baja 1,2 mm, beban 12,480 kg selama waktu 10 detik.



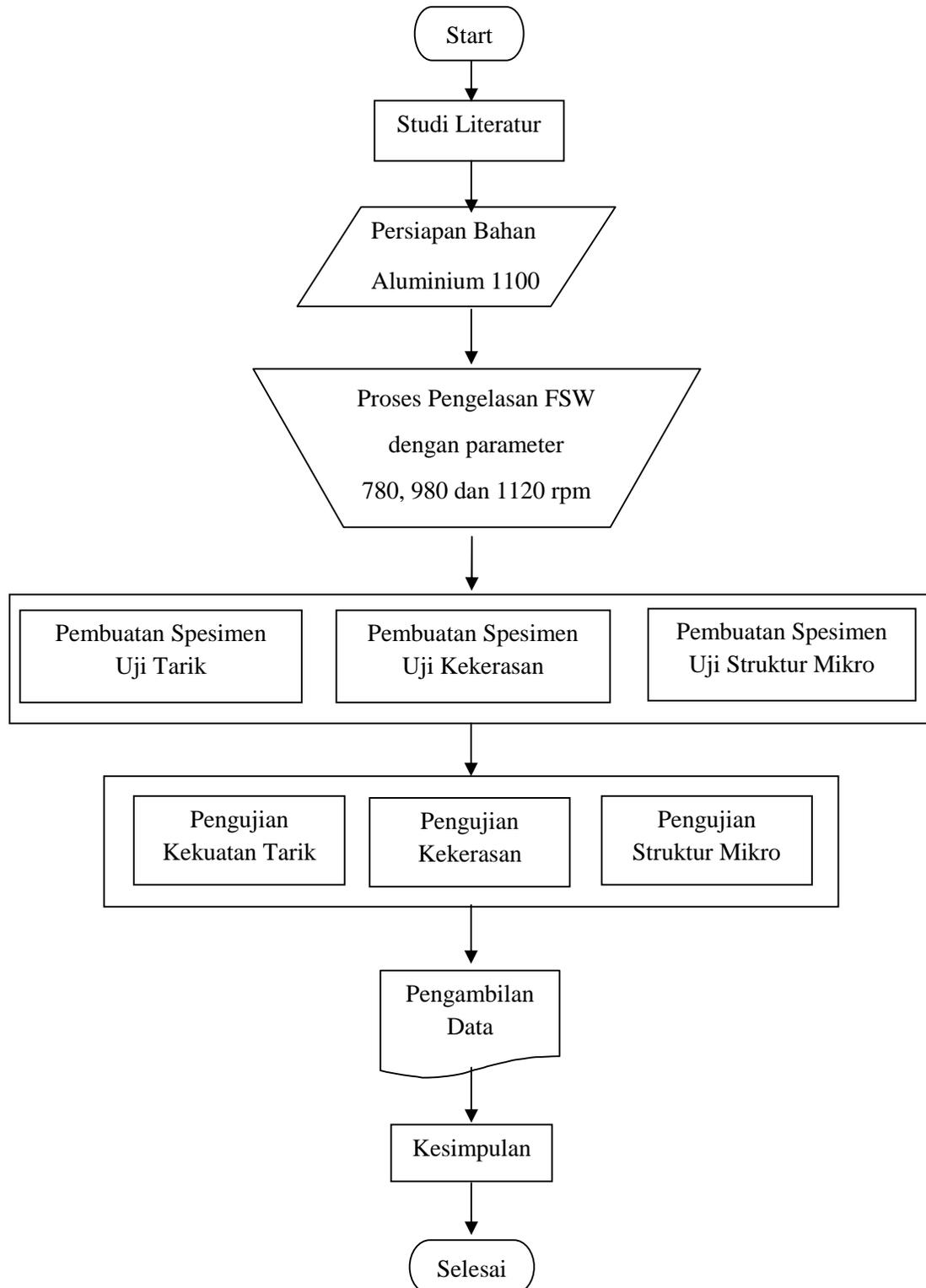
Gambar 3.2 Skema uji kekerasan

Tabel 3.2 Rancangan Perhitungan Data Uji Kekerasan

No	Daerah Pengujian	d (mm)	Kekerasan (BHN)
1	1		
2	2		
3	3		
4	4		
5	5		
6	6		
7	7		

### 3.6 Diagram Alir Penelitian

#### Diagram Alir Penelitian



### 3.7 Jadwal Kegiatan Penelitian

Table 3.3 Rencana Jadwal Kegiatan Penelitian

Jenis kegiatan	Juni				Juli- Agustus				September- November				Desember- Februari			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Studi Literatur	■	■	■	■												
Pengajuan Judul	■	■	■	■												
Penyusunan Proposal		■	■	■												
Seminar Proposal			■	■												
Persiapan penelitian				■	■	■	■	■	■	■	■	■				
Pengerjaan Penelitian				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Pengumpulan data				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Pengolahan Data				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Konsultasi Hasil				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Seminar Hasil				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Ujian Skripsi				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

## BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Pengelasan *Friction Stir Welding*

Pengelasan dengan metode *friction stir welding* merupakan pengelasan yang terjadi pada kondisi padat (*solid state joining*) dengan memanfaatkan gesekan dari benda kerja yang berputar dengan benda kerja lain yang diam sehingga mampu melelehkan benda kerja yang diam tersebut dan akhirnya tersambung menjadi satu. Hasil pengelasan menggunakan metode *friction stir welding* ditunjukkan pada gambar 4.1 di bawah ini.



Gambar 4.1 Hasil pengelasan *friction stir welding*

## 4.2 Hasil Uji Tarik

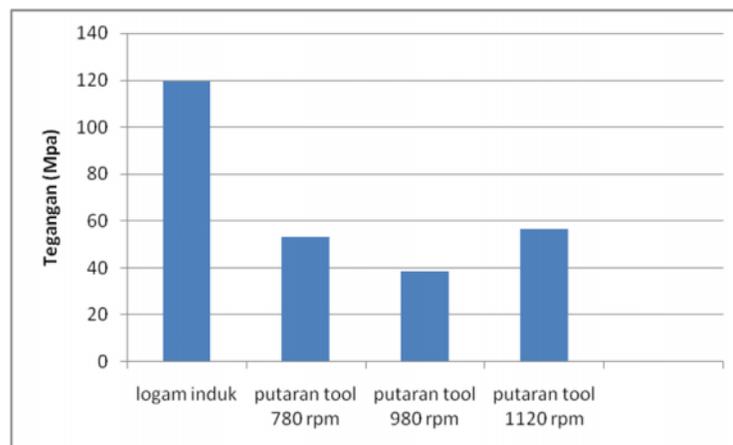
Prinsip dari pengujian tarik yaitu sampel atau benda uji dengan ukuran dan bentuk tertentu ditarik dengan beban kontinyu sambil diukur pertambahan panjangnya. Data yang didapat berupa perubahan panjang dan perubahan beban yang selanjutnya ditampilkan dalam bentuk grafik tegangan-regangan, sebagaimana ditunjukkan oleh tabel. Dalam pengujian tarik ini akan didapatkan besar beban maksimum pada material hasil pengelasan saat mengalami plastisitas hingga putus.

Pada table 4.1 menunjukkan data hasil pengujian tarik yang telah diperoleh dari pengujian specimen untuk setiap variasi pengelasan. Pada table menunjukkan nilai UTS yang didapat dari perhitungan yang diterangkan pada lampiran.

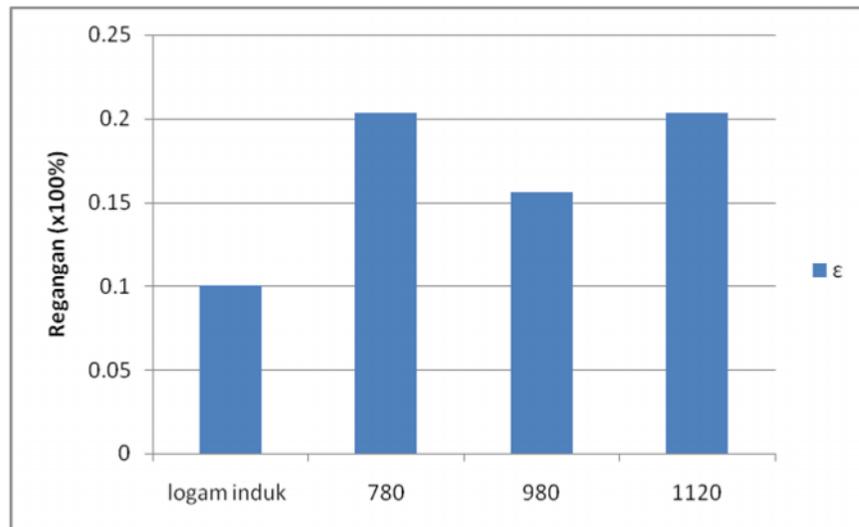
Tabel 4.1 Data hasil pengujian tarik

Rpm	A <sub>o</sub> (mm)	L <sub>o</sub> (mm)	L (mm)	UTS			Rata rata ( )	= L/L <sub>o</sub> (%)
				1	2	3		
780	24	32	7	52.083	52.917	51.667	52.222	0.21875
980	24	32	5	38.333	38.333	38.75	38.472	0.15625
1120	24	32	6.5	55.833	56.667	57.083	56.528	0.203125

Selain itu diperoleh nilai UTS bahan aluminium 1100 berdasarkan sertifikat sebesar 119,5 MPa dan nilai regangan sebesar 10 %. Selanjutnya tabel 4.1 diolah dan disajikan dalam bentuk grafik seperti tersaji pada gambar 4.2 dan 4.3.



Gambar 4.2 Grafik variasi putaran *tool* terhadap kekuatan tarik



Gambar 4.3 Grafik variasi putaran *tool* terhadap regangan

Dari grafik diatas (gambar 4.2) tampak terlihat jelas bahwa kekuatan tarik tertinggi (UTS) terbesar terdapat pada proses pengelasan menggunakan putaran *tool* 1120 rpm yaitu sebesar 56,528 MPa, kemudian berturut-turut yaitu putaran *tool* 780 sebesar 52,222 Mpa, putaran *tool* 980 rpm sebesar 38,472 Mpa. Sedangkan untuk regangan pada gambar 4.3 yang terjadi pada pengujian tarik ini regangan terbesar terjadi pada proses pengelasan dengan putaran *tool* 780 rpm yaitu sebesar 21,875 %, dan untuk regangan terkecil terjadi pada proses pengelasan dengan putaran *tool* 980 rpm sebesar 15,625 %. Pada gambar 4.3 terlihat regangan pada logam induk paling rendah, hal ini dikarenakan proses kalibrasi pengujian yang berbeda. Pada lampiran hasil pengujian tarik juga didapat nilai yield point yang tidak berbeda jauh pada masing – masing variasi putaran, hal ini menunjukkan pengelasan dengan metode ini tidak berpengaruh terhadap nilai yield point dan baik untuk aplikasi pada bidang konstruksi.

Kekuatan tarik berbanding terbalik dengan regangannya. Semakin besar tegangan tariknya maka regangannya semakin kecil, sedangkan semakin kecil tegangan tariknya regangannya akan semakin besar. Akan tetapi berdasarkan hasil pengujian tarik di atas menunjukkan nilai regangan dan kekuatan tarik terendah pada variasi putaran *tool* 980 rpm. Kemungkinan penyebab perbedaan ini adalah *holding*

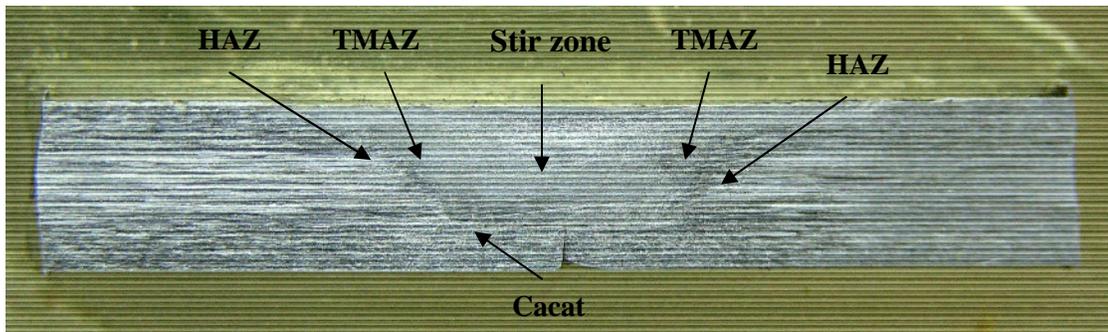
*time* yang terlalu cepat ( $\pm 30$  detik). Pada saat pengujian *holding time* belum menjadi pertimbangan sebagai parameter yang berpengaruh terhadap hasil lasan, seiring pengalaman ternyata diperlukan *holding time* sekitar 2 menit. Karena *holding time* yang diberikan kurang memadai sehingga menyebabkan panas yang kurang merata dan berpengaruh terhadap hasil pengelasan. Kurangnya masukan panas ini menimbulkan cacat *wormholes* yang paling besar diantara variasi putaran *tool* yang lainnya. Cacat ini pada pengelasan dengan putaran 980 rpm adalah hal utama yang mengurangi kekuatan tarik dari hasil pengelasan dalam penelitian ini. Berbeda dengan hasil pengelasan dengan variasi putaran *tool* 780 rpm dan 1120 rpm yang menghasilkan nilai kekuatan tarik yang lebih tinggi, akan tetapi hasil kekuatan tarik tersebut belum optimal karena kurangnya penetrasi terhadap logam yang akan disambung, hal ini disebabkan panjang pin pada *tool* yang kurang panjang sehingga hasil penyambungan kurang baik dan adanya celah di bagian *root* yang menimbulkan konsentrasi tegangan pada saat pengujian tarik dilakukan.

Menurut Jarot Wijayanto & Agdha Anelis antara logam induk Aluminium 6110 dengan logam yang sudah dilas memiliki perbedaan tegangan tarik yang sangat signifikan, yang hampir mencapai 50% dari kekuatan *raw materialnya*. Hal ini dikarenakan pada daerah logam lasan mengalami perubahan struktur mikro, akibat dari penempaan pada saat pengelasan. Selain hal itu, perbedaan nilai tegangan dan regangan terjadi karena pada material hasil pengelasan memiliki cacat, baik cacat luar maupun cacat dalam.

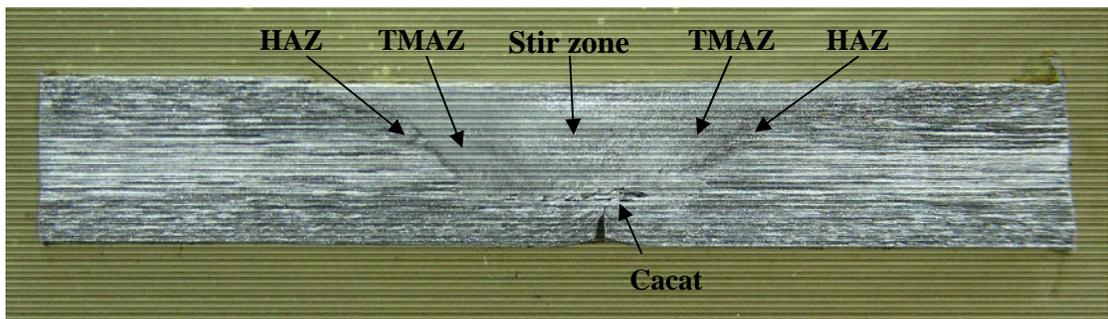
### **4.3 Hasil Uji Foto Makro dan Mikro**

#### **4.3.1 Hasil Uji Foto Makro**

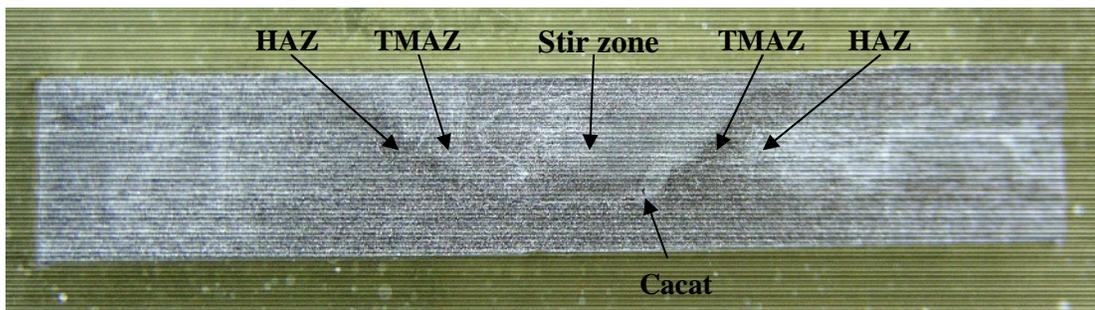
Pengamatan makro dilakukan untuk mengetahui dan membedakan daerah hasil lasan yang terdiri dari logam induk, HAZ, TMAZ dan *stir zone* pada hasil pengelasan *friction stir welding*. Pada gambar 4.3 dapat dilihat hasil dari pengamatan foto makro untuk pengelasan dengan variasi putaran *tool* 780 rpm, 980 rpm dan 1120 rpm.



(a)



(b)



(c)

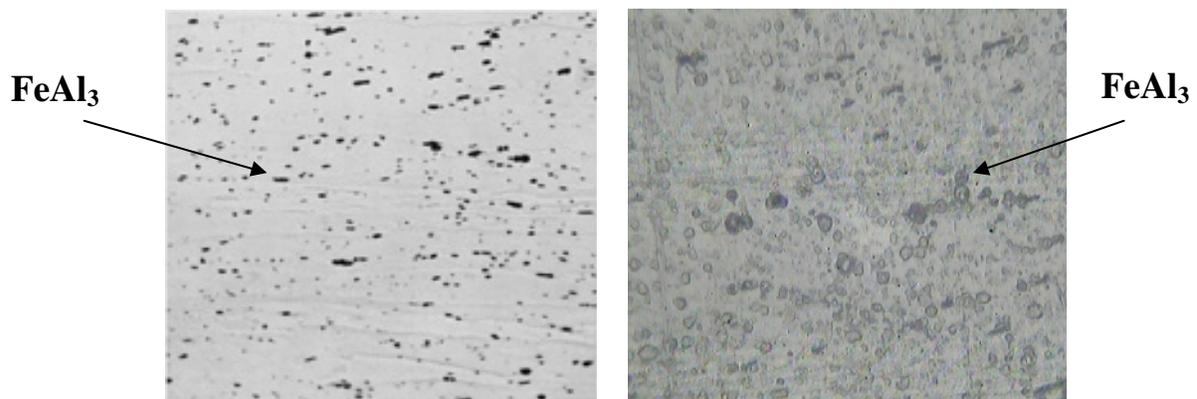
Gambar 4.4 Foto makro hasil pengelasan dengan variasi putaran tool:  
 (a) 780 rpm, (b) 980 rpm dan (c) 1120 rpm

Dari gambar di atas dapat diketahui daerah – daerah hasil pengelasan *friction stir welding* dan adanya cacat *wormholes* pada setiap variasi pengelasan. Cacat *wormholes* terbesar terdapat pada hasil pengelasan dengan putaran *tool* 980 rpm dan juga adanya celah karena kurangnya penetrasi dan menimbulkan konsentrasi

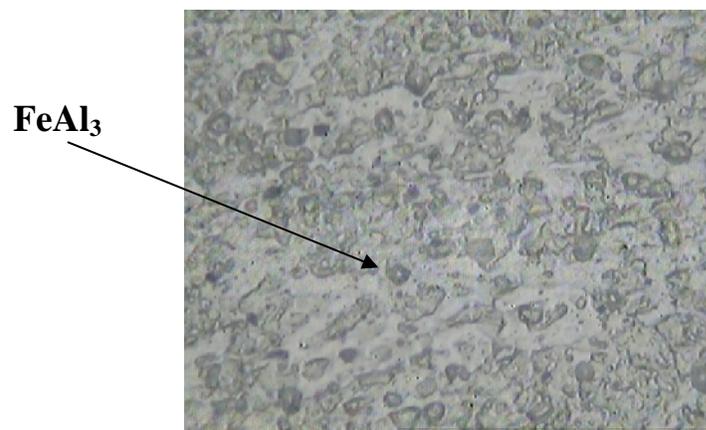
tegangan pada hasil pengelasan, celah ini juga terjadi pada variasi putaran *tool* 780 rpm.

#### 4.3.2 Hasil Uji Foto Mikro

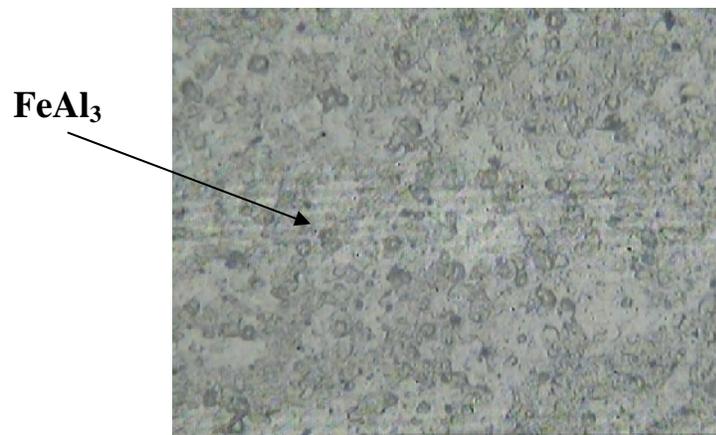
Pengamatan struktur mikro dilakukan untuk mengetahui perubahan struktur mikro yang terjadi akibat adanya proses pengelasan dengan metode *friction stir welding*, yaitu di daerah *stir zone*, TMAZ, HAZ, dan *base metal*. Pada pengelasan *friction stir welding* paduan AA 1100 hanya terjadi penghalusan partikel-partikel pada daerah *stir zone* dan tidak terjadi perubahan fase karena pada pengelasan ini tidak menggunakan logam pengisi. Menurut *ASM Hand Book Metallography and Microstructures*, partikel hitam yang terdispersi merata pada matriks aluminium adalah  $\text{FeAl}_3$ , seperti yang diperlihatkan pada gambar 4.5 dibawah ini.



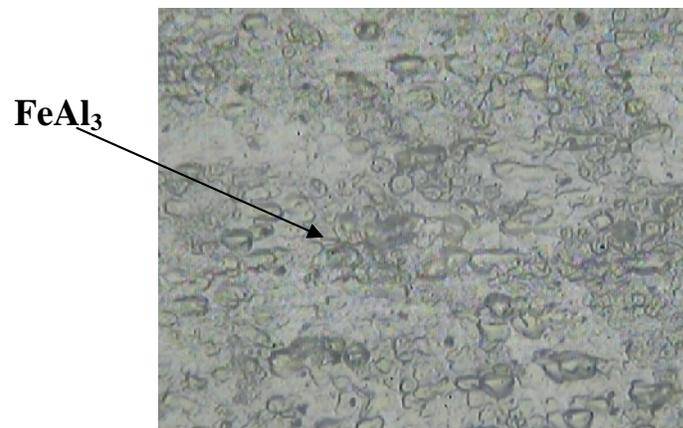
Gambar 4.5 Struktur mikro *base metal* Aluminium AA1100, menurut *ASM Hand Book Metallography and Microstructures* (kiri), setelah pengujian mikrostruktur dengan pembesaran 400x (kanan)



(a)

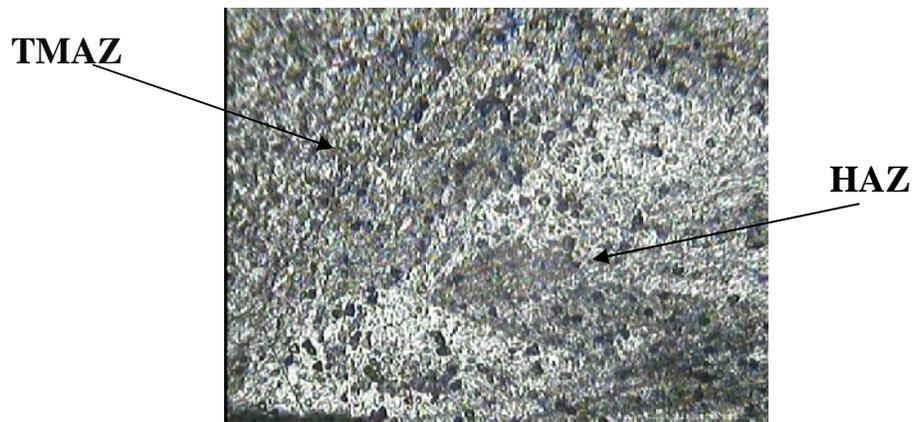


(b)

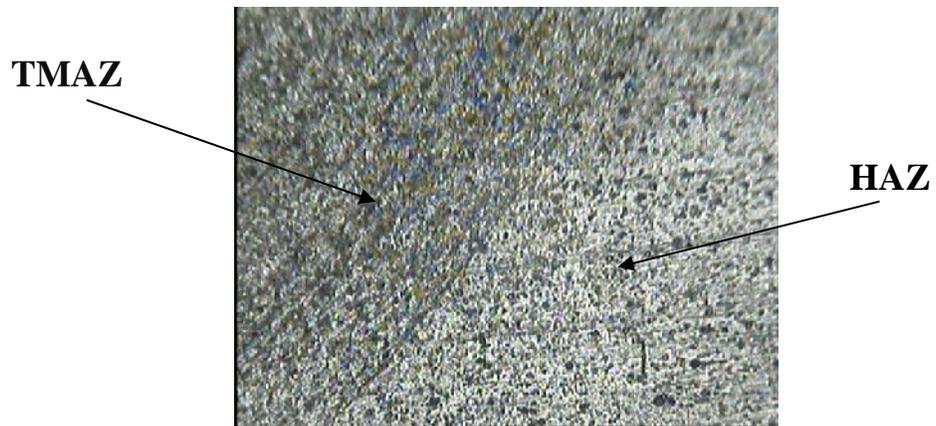


(c)

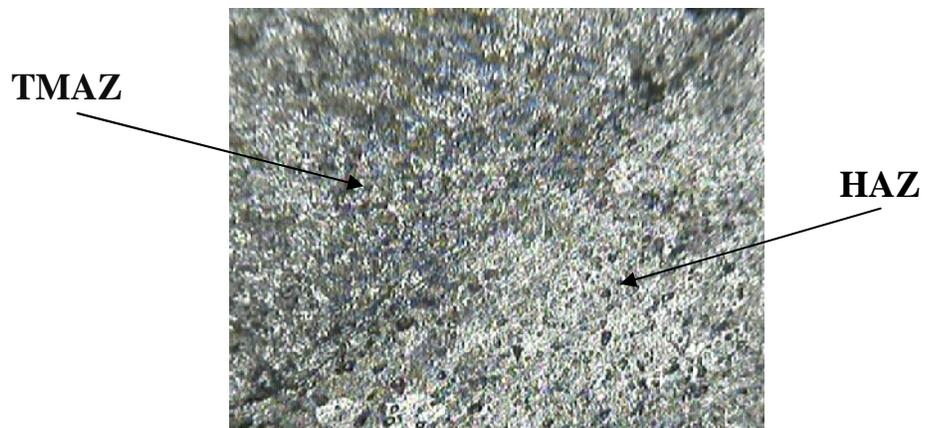
Gambar 4.6 Struktur mikro daerah *stir zone* dengan variasi putaran *tool*:  
(a) 780 rpm, (b) 980 rpm dan (c) 1120 rpm, pembesaran 400x



(a)

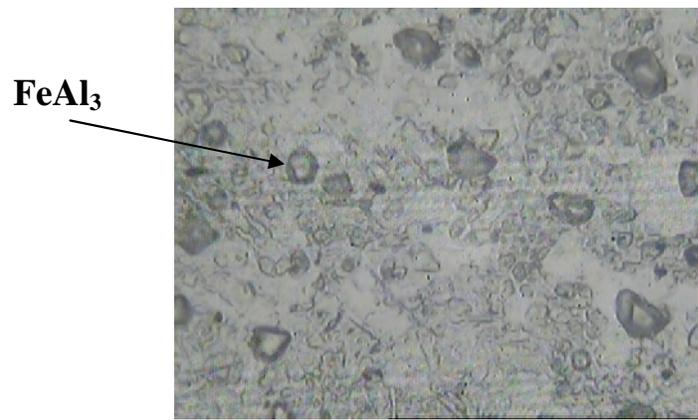


(b)

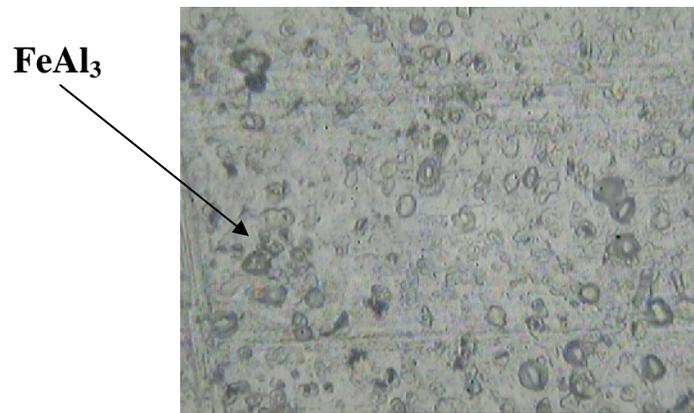


(c)

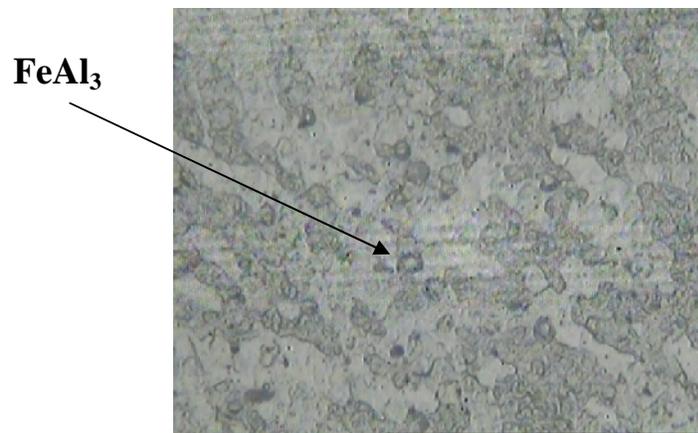
Gambar 4.7 Struktur mikro daerah transisi antara TMAZ dan HAZ dengan variasi putaran *tool*: (a) 780 rpm, (b) 980 rpm dan (c) 1120 rpm, pembesaran 100x



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.8 Struktur mikro daerah HAZ dengan variasi putaran *tool*: (a) 780 rpm, (b) 980 rpm dan (c) 1120 rpm, pembesaran 400x

Pada Gambar 4.6 menunjukkan struktur mikro daerah *stir zone* pada setiap variasi pengelasan. Daerah *stir zone* ini partikel  $FeAl_3$  tersebar lebih merata pada matriks Al yang disebabkan adanya proses puntiran pada saat proses pengelasan berlangsung. Struktur mikro juga terlihat memanjang, hal ini dikarenakan adanya penekanan dan menimbulkan efek tempa pada saat pengelasan berlangsung.

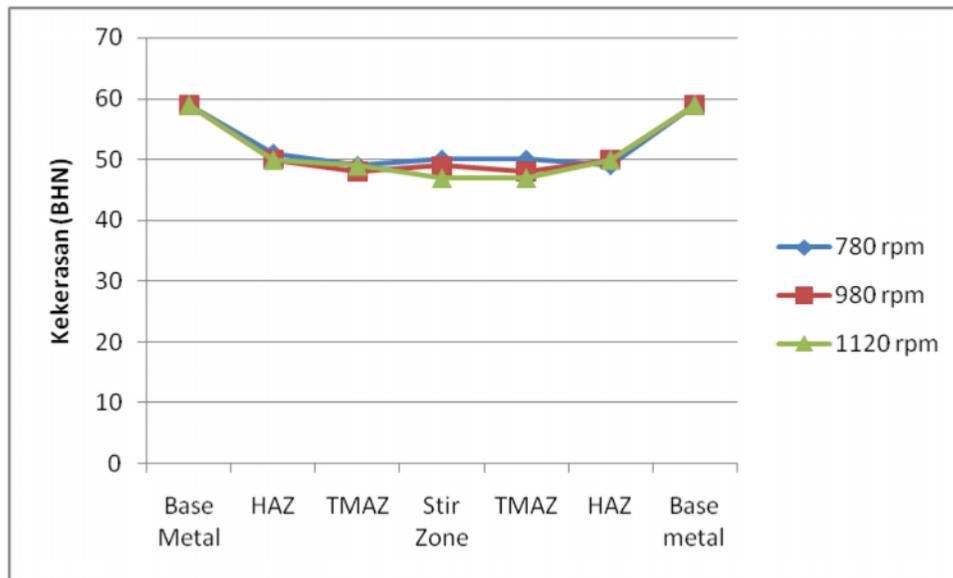
Pada Gambar 4.7 menunjukkan struktur mikro daerah transisi antara *base metal* dan *stir zone*. Daerah TMAZ (*thermomechanical affected zone*) partikel  $FeAl_3$  masih berbentuk kasar karena hanya terpengaruh panas termomekanik dari gesekan. Sedangkan pada Gambar 4.8 menunjukkan struktur mikro daerah HAZ (*heat affected zone*). Pada daerah ini hanya terjadi pertumbuhan butir karena terpengaruh panas akibat gesekan yang terjadi pada saat pengelasan berlangsung.

#### 4.4 Hasil Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan ini dilakukan pada tiap spesimen hasil pengelasan dengan variasi putaran *tool*. Pada table 4.2 menunjukkan data hasil pengujian kekerasan dengan menggunakan uji kekerasan brinell, kemudian pada gambar 4.9 menunjukkan grafik perbandingan kekerasan pada setiap variasi pengelasan.

Tabel 4.2 Data hasil pengujian kekerasan (BHN)

Putaran <i>Tool</i>	Base Metal	HAZ	TMAZ	Stir Zone	TMAZ	HAZ	Base metal
780 rpm	59	51	49	50	50	49	59
980 rpm	59	50	48	49	48	50	59
1120 rpm	59	50	49	50	49	50	59



Gambar 4.9 Grafik nilai kekerasan hasil pengelasan *friction stir welding*

Proses pengelasan aluminium dengan *friction stir welding* menggunakan putaran 780 rpm memiliki kekerasan yang paling besar. Kekerasan yang rendah terdapat pada penggunaan putaran 1120 rpm, ini dapat terjadi karena heat input yang besar dapat menghasilkan bentuk grain yang kecil. Seharusnya dalam penelitian ini kekerasan dapat disebabkan oleh besar kecilnya putaran *tool* yang dipakai, semakin besar putaran yang dipakai maka masukan panas juga akan semakin besar dan akan membentuk grain yang kecil sehingga menyebabkan nilai kekerasan yang tinggi.

Pada gambar 4.9 dapat dilihat bahwa trend dari *base metal*, HAZ, TMAZ dan *stir zone* menunjukkan penurunan kekerasan pada setiap variasi putaran *tool*. Hal ini disebabkan pada pengelasan ini tidak dimasukkannya logam baru (*electrode*) pada saat pengelasan. Pada pengelasan busur adanya logam baru (*electrode*) dapat diatur tingkat mechanical propertiesnya sesuai dengan yang diinginkan. Pada pengelasan *friction stir welding*, penyambungan logam dilakukan dengan gesekan dan adukan tanpa memasukkan logam baru diantara material. Dan hasil pengelasan pada daerah *stir zone* tentu saja tidak bisa melebihi kekuatan dari base metal. Sifat yang kurang baik dari proses ini adalah terjadinya pelunakan pada daerah las sebagai akibat panas yang timbul. Penurunan nilai kekerasan pada daerah lasan, selain karena karakteristik

dari paduan itu sendiri juga disebabkan karena proses pengerasan tidak bisa terjadi ketika proses pengelasan berlangsung. H. Wiryosumarto,1996, menyatakan bahwa pengerasan akan tercapai bila terjadi pengendapan fasa kedua pada temperatur 160-185°C dalam waktu 6 sampai 20 jam.

## BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian proses pengelasan dengan metode *friction stir welding* yang telah dilakukan pada material Aluminium AA 1100 dengan variasi putaran *tool* maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengelasan Aluminium AA 1100 dengan metode *friction stir welding* (FSW) dapat dilakukan dengan baik.
2. Hasil pengujian tarik diperoleh bahwa rata - rata ultimate strength untuk pengelasan dengan menggunakan putaran *tool* 780 rpm adalah 52.222 Mpa, untuk putaran *tool* 980 rpm adalah 38.472 Mpa dan putaran *tool* 1120 adalah 56.528 Mpa. Dengan hasil ini dapat diketahui bahwa ultimate strength yang tertinggi adalah dengan menggunakan putaran *tool* 1120 rpm dan ultimate strength pada putaran *tool* 980 rpm adalah yang terendah. Cacat *wormholes* pada pengelasan dengan putaran *tool* 980 rpm adalah hal utama yang mengurangi kekuatan tarik pada penelitian ini
3. Dari pengamatan makro diketahui cacat *wormholes* terbesar terdapat pada hasil pengelasan dengan putaran *tool* 980 rpm dan juga adanya celah karena kurangnya penetrasi dan menimbulkan konsentrasi tegangan pada hasil pengelasan, celah ini juga terjadi pada variasi putaran *tool* 780 rpm.
4. Dari pengamatan mikro diketahui bahwa bentuk butir pada daerah *stir zone* partikel  $FeAl_3$  tersebar lebih merata pada matriks Al yang disebabkan adanya proses puntiran pada saat proses pengelasan berlangsung.
5. Pengujian kekerasan menunjukkan bahwa logam las lebih lunak daripada logam induk. Sedangkan daerah TMAZ mempunyai kekerasan yang paling rendah .

## 5.2 Saran

Saran yang dapat diajukan agar percobaan berikutnya dapat lebih baik dan dapat menyempurnakan percobaan yang telah dilakukan dalam penelitian ini adalah :

1. Perlu adanya pengembangan penelitian khususnya untuk variasi feed rate agar didapatkan pengelasan yang optimal.
2. Panjang pin pada shoulder sebaiknya lebih panjang akan tetapi tidak melebihi dari tebal logam induk agar didapatkan penetrasi yang lebih dalam sehingga dapat dihasilkan hasil pengelasan yang lebih baik.
3. Pengaturan holding time dianjurkan agar didapatkan perambatan panas yang merata.

## DAFTAR PUSTAKA

- ASM. 2007. *Friction Stir Welding And Processing*
- ASTM Volume 9. 2001. *Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials*
- ASM Volume 9. 2001. *Metallogrhy And Microstructure Analisys.*
- Yuwono A, H. 2009.. *Buku Panduan Praktikum Karakterisasi Material I Pengujian Merusak (Destructive Testing)*. Departemen Metalurgi Dan Material Fakultas Teknik. Universitas Indonesia.
- Biswas, P. dan Mandal, N. R. (2011), *Effect of Tool Geometries on Thermal History of FSW of AA1100*, Supplement To The *Welding Journal*, July 2011.
- Purwaningrum, Y. dan Setyanto, K. (2011), *Komparasi Sifat Fisik Dan Mekanik Sambungan Las Tig (Tungsten Inert Gas) Dan Las Fsw (Friction Stir Welding) pada Aluminium Tipe 1xxx.*
- Wijayanto, Jarot & Agdha Anelis (2010) *Pengaruh Feed Rate terhadap Sifat Mekanik pada Pengelasan Friction Stir Welding Alumunium 6110*, Jurnal Kompetensi Teknik Vol. 2, No.1, Novemberi 2010.
- A. Yazdipour, A. Shafiei M, K. Dehghani (2009) *Modeling the microstructural evolution and effect of cooling rate on the nanograins formed during the friction stir processing of Al5083.*
- R. Nandan, T. DebRoy, H.K.D.H. Bhadeshia. 2008. *Recent advances in friction-stir welding – Process, weldment structure and properties*, Progress in Materials Science 53 (2008) 980–1023.
- M. Jayaraman, dkk.2009. *Optimization of process parameters for friction stir welding of cast aluminium alloy A319 by Taguchi method*, Journal of Scientific & Industrial Research, Vol. 68 January 2009, pp. 36 – 43.
- Shopiyyuddin (2010) *Pembentukan Sambungan Las Komposit Al-Si / Partikel Alumina Pada Paduan Hipoeutektik Al-Si.*

Lampiran A. Proses Pengelasan *Friction Stir Welding*



Lampiran A1. Tool Friction Stir Welding



Lampiran A2. Proses Pengelasan *Friction Stir Welding*

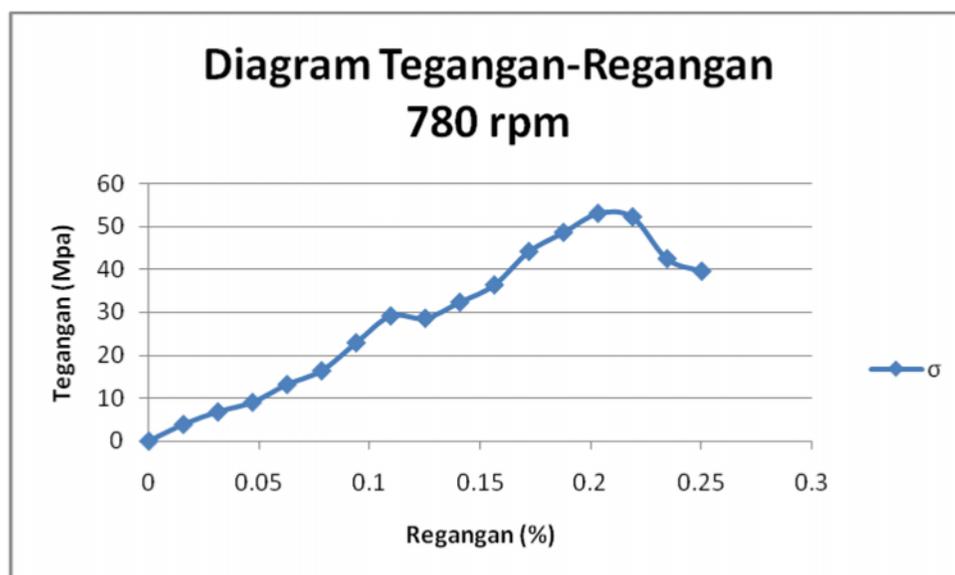


Lampiran A3. Hasil Pengelasan *Friction Stir Welding*

## Lampiran B. Hasil Pengujian Tarik

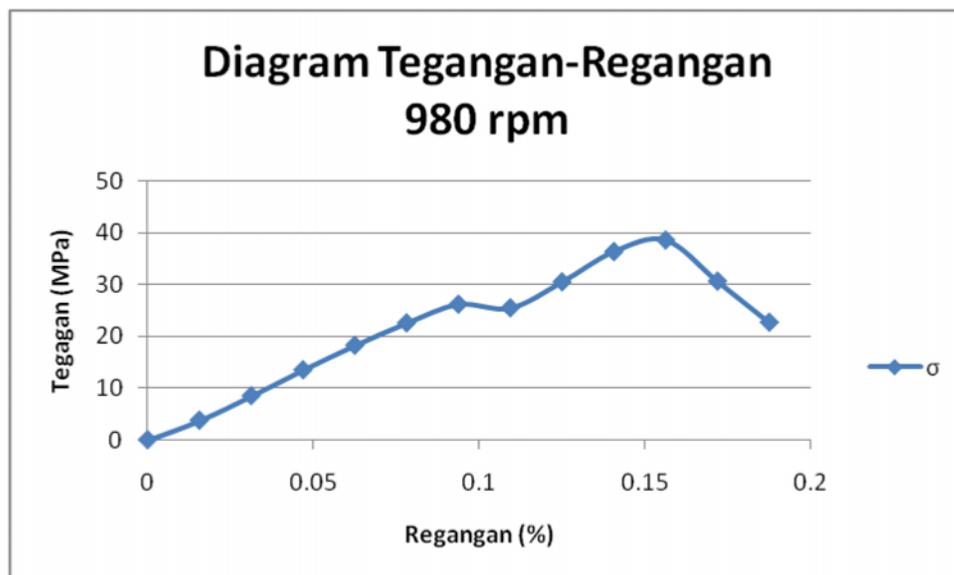
Variasi putaran 780 Rpm

no	A <sub>o</sub> (mm)	L <sub>o</sub> (mm)	L (mm)	= P/A <sub>o</sub>			Rata rata ( )	= L/L <sub>o</sub> (%)
				1	2	3		
1	24	32	0	0	0	0	0	0
2	24	32	0.5	4.167	3.75	3.75	3.889	0.015625
3	24	32	1	7.083	6.25	7.083	6.805	0.03125
4	24	32	1.5	9.167	8.333	9.583	9.028	0.046875
5	24	32	2	13.333	12.5	13.75	13.194	0.0625
6	24	32	2.5	17.083	16.25	15.833	16.389	0.078125
7	24	32	3	23.333	22.917	22.5	22.917	0.09375
8	24	32	3.5	28.333	29.583	29.583	29.166	0.109375
9	24	32	4	27.917	28.75	29.167	28.611	0.125
10	24	32	4.5	32.917	32.083	32.083	32.361	0.140625
11	24	32	5	37.083	35.833	36.25	36.389	0.15625
12	24	32	5.5	43.75	43.333	45.417	44.167	0.171875
13	24	32	6	48.333	48.333	49.167	48.611	0.1875
14	24	32	6.5	52.917	53.75	52.5	53.056	0.203125
15	24	32	7	52.083	52.917	51.667	52.222	0.21875
16	24	32	7.5	42.5	41.667	43.333	42.5	0.234375
17	24	32	8	38.75	40.833	39.167	39.583	0.25
18	24	32	8.5					
19	24	32	9					



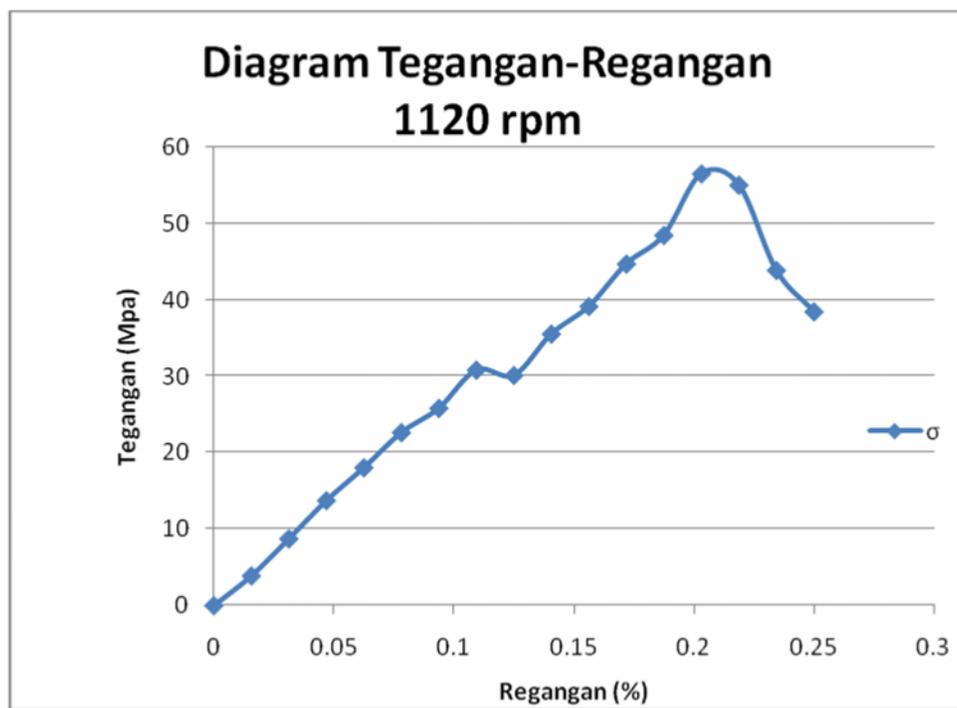
## Variasi putaran 980 Rpm

no	A <sub>o</sub> (mm)	L <sub>o</sub> (mm)	L (mm)	= P/A <sub>o</sub>			Rata rata ( )	= L/L <sub>o</sub> (%)
				1	2	3		
1	24	32	0	0	0	0	0	0
2	24	32	0.5	4.167	3.333	3.75	3.75	0.015625
3	24	32	1	9.167	7.917	8.333	8.472333333	0.03125
4	24	32	1.5	13.75	13.75	12.917	13.472333333	0.046875
5	24	32	2	18.75	18.333	17.5	18.194333333	0.0625
6	24	32	2.5	22.083	22.5	22.917	22.5	0.078125
7	24	32	3	26.25	26.667	25.417	26.111333333	0.09375
8	24	32	3.5	25.417	25.833	25	25.416666667	0.109375
9	24	32	4	30	30	31.25	30.416666667	0.125
10	24	32	4.5	37.5	35.417	35.833	36.25	0.140625
11	24	32	5	38.333	38.333	38.75	38.472	0.15625
12	24	32	5.5	30	32.083	29.583	30.555333333	0.171875
13	24	32	6	22.5	24.167	21.25	22.639	0.1875
14	24	32	6.5					0.203125

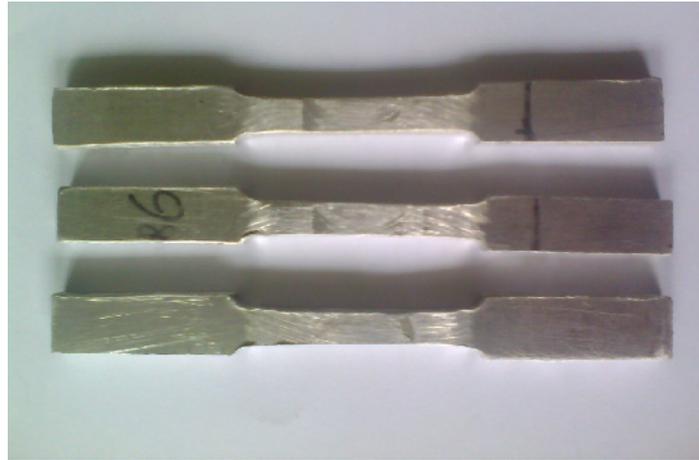


## Variasi putaran 1120 Rpm

no	A <sub>o</sub> (mm)	L <sub>o</sub> (mm)	L (mm)	= P/A <sub>o</sub>			Rata rata ( )	= L/L <sub>o</sub> (%)
				1	2	3		
1	24	32	0	0	0	0	0	0
2	24	32	0.5	3.75	3.333	4.583	3.888666667	0.015625
3	24	32	1	8.333	7.917	10	8.75	0.03125
4	24	32	1.5	12.917	12.917	15.417	13.750333333	0.046875
5	24	32	2	17.5	17.5	19.167	18.055666667	0.0625
6	24	32	2.5	22.5	21.667	23.75	22.639	0.078125
7	24	32	3	26.25	25.833	25.417	25.833333333	0.09375
8	24	32	3.5	30.833	31.25	30.417	30.833333333	0.109375
9	24	32	4	30	30.417	30	30.139	0.125
10	24	32	4.5	36.25	35.417	35	35.555666667	0.140625
11	24	32	5	39.167	40	38.333	39.166666667	0.15625
12	24	32	5.5	45.417	44.583	44.167	44.722333333	0.171875
13	24	32	6	47.083	49.583	48.75	48.472	0.1875
14	24	32	6.5	55.833	56.667	57.083	56.527666667	0.203125
15	24	32	7	54.167	55.167	55.833	55.055666667	0.21875
16	24	32	7.5	45	44.167	42.5	43.889	0.234375
17	24	32	8	39.583	38.333	37.5	38.472	0.25



### Lampiran C. Spesimen Pengujian



Lampiran C1. Spesimen Uji Tarik



Lampiran C2. Spesimen Uji Kekerasan dan Strukturmikro