



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH PERUBAHAN PARAMETER PEMESINAN TERHADAP
SIFAT MEKANIK MATERIAL AC4CH PADA PROSES
*FRICTION STIR WELDING (FSW)***

SKRIPSI

**MUHAMAD REZA DIRHAMSyah
0806368761**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
DEPOK
JUNI 2011**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH PERUBAHAN PARAMETER PEMESINAN TERHADAP
SIFAT MEKANIK MATERIAL AC4CH PADA PROSES
*FRICITION STIR WELDING (FSW)***

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**MUHAMAD REZA DIRHAMSyah
0806368761**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
DEPOK
JUNI 2011**

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul :

**PENGARUH PERUBAHAN PARAMETER PEMESINAN TERHADAP
SIFAT MEKANIK MATERIAL AC4CH PADA PROSES
*FRICION STIR WELDING (FSW)***

yang dibuat untuk melengkapi sebagai persyaratan menjadi sarjana teknik pada Program Studi Teknik Mesin Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia, sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari skripsi yang sudah di publikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di lingkungan Universitas Indonesia maupun di Perguruan Tinggi atau instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Skripsi ini merupakan bagian yang dikerjakan bersama saudara Samsi Suardi (0806368875) dengan judul **PENGEMBANGAN SISTEM *FRICION STIR WELDING (FSW)* PADA MATERIAL AC4CH**

Nama : Muhamad Reza Dirhamsyah

NPM : 0806368761

Tanda Tangan : 

Tanggal : 12 Juli 2011

Universitas Indonesia

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Muhamad Reza Dirhamsyah

NPM : 0806368761

Program Studi : Teknik Mesin

Judul Skripsi : PENGARUH PERUBAHAN PARAMETER PEMESINAN
TERHADAP SIFAT MEKANIK MATERIAL AC4CH PADA
PROSES FRICTION STIR WELDING (FSW)

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ario Sunar Baskoro, ST, MT, M.Eng (.....)

Penguji : Dr.Ir. Gandjar Kiswanto, M.Eng (.....)

Penguji : Dr.Ir. Gatot Prayogo, M.Eng (.....)

Penguji : Ir. Henky Suskito Nugroho, MT (.....)

Penguji : Ir. Winarto, MSc.PhD (.....)

Ditetapkan di : Universitas Indonesia, Depok

Tanggal : 12 Juli 2011

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT karena atas berkat rahmat dan karunia-Nya saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar sarjana teknik mesin pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa dalam proses pembuatan hingga selesainya skripsi ini banyak pihak yang telah membantu dan menyemangati saya dalam pembuatan skripsi ini. Oleh karena itu saya mengucapkan terima kasih kepada :

- 1) Orang tua dan seluruh keluarga tercinta yang selalu memberikan bantuan baik moril maupun materiil.
- 2) Dr. Ario Sunar Baskoro S.T.,M.T., M.Eng selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan skripsi ini.
- 3) Ir Wahyu Nurbito MSME selaku pembimbing akademik yang telah membimbing penulis selama berada di UI.
- 4) Samsi Suardi yang telah bekerja sama dengan baik selama pengerjaan skripsi ini.
- 5) Karyawan-karyawan Workshop dan MDEV yang sudah sangat membantu kelancaran penelitian dan penulisan skripsi ini.
- 6) Teman-teman teknik mesin seperjuangan yang telah ikut berkontribusi dalam pembuatan skripsi ini.
- 7) Seluruh sahabat, rekan, dan keluarga besar civitas MUMTAAZ YISC Al-Azhar yang telah memberikan support yang luar biasa.

Depok, 13 Juli 2011

Penulis

Universitas Indonesia

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, penulis yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhamad Reza Dirhamsyah
NPM : 0806368761
Program Studi : Teknik Mesin
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah yang berjudul :

PENGARUH PERUBAHAN PARAMETER PEMESINAN TERHADAP SIFAT MEKANIK MATERIAL AC4CH PADA PROSES *FRICITION STIR WELDING (FSW)*

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non-eksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pengkayaan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir penulis selama tetap mencantumkan nama penulis sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian Pernyataan ini penulis buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada Tanggal : 12 Juli 2011

Yang menyatakan,



(Muhamad Reza Dirhamsyah)

ABSTRAK

Nama : Muhamad Reza Dirhamsyah
Program Studi : Teknik Mesin
Judul : Pengaruh Perubahan Parameter Pemesinan Terhadap Sifat Mekanik Material AC4CH Pada Proses *Friction Stir Welding* (FSW).

Friction Stir Welding (FSW) yang ditemukan di *The Welding Institute* (TWI), Inggris pada tahun 1991 merupakan teknik pengelasan pada kondisi padat (*solid-state*) sehingga memiliki keuntungan seperti tingkat deformasi yang rendah serta tidak ada material terbakar sehingga kadar asap yang dihasilkan rendah. Pada awalnya diaplikasikan pertama kali pada material aluminium. Konsep dasar pengelasan ini sangat sederhana, yaitu perkakas (*tool*) yang berputar yang memiliki *probe* dan *shoulder* yang dirancang khusus dimasukan diantara dua ujung plat atau benda kerja yang akan disambung, lalu secara teratur digerakan di sepanjang garis sambungan. Proses ini tergolong baru dan belum banyak diaplikasikan di Indonesia. Karena itu, penelitian ini dilakukan untuk melihat pengaruh perubahan parameter pemesinan terhadap sifat mekanik material yang disambung dengan proses *friction stir welding*, dalam hal ini material AC4CH (JIS). Variasi parameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah bentuk *tool*, sudut *tool*, dan kecepatan putar *tool*. Dimana hasil penelitian dan pengujian menunjukkan bahwa variasi parameter tersebut berpengaruh terhadap visual hasil pengelasan (kekasaran & *flashing*), kekuatan tarik material yang sudah di las, kekerasan pada setiap area pengelasan (*weldzone*) dan bentuk penampang potong dari pengelasan (Makrostruktur)

Kata kunci : *Friction Stir Welding*; FSW; AC4CH

ABSTRACT

Name : Muhamad Reza Dirhamsyah
Programme : Mechanical Engineering
Topic : Effects of Machining Parameters on Mechanical Properties of AC4CH Material in Friction Stir Welding (FSW)

Friction stir welding (FSW) was invented at The Welding Institute (TWI) of United Kingdom in 1991 as solid-state joining technique so it has advantages such as low level deformation, low fume because no burned material. It was initially applied to aluminium alloys. The basic concept of FSW is remarkably simple, a nonconsumable rotating tool with a specially designed Probe and shoulder is inserted into the abutting edges of sheets or plates to be joined and subsequently traversed along the joint line. This process is relatively new and not yet widely applied in Indonesia. Therefore, the study was conducted to study the change of machining parameter can affect the mechanical properties of the material to be joined by friction stir welding process, in this case AC4CH (JIS) material. Variaton of parameters used in this research is a form of a tool, tool angle, and rotation speed of tool. Where the study and test result shown that the variation of these parameters will affect the visual welding result (roughness & flashing), tensile strength of welded material, hardness at each weldzone and cross-sectional shape of the welding material (macrostructure).

Keywords : Friction Stir Welding; FSW; AC4CH

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
UCAPAN TERIMA KASIH	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	v
ABSTRAK.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. LATAR BELAKANG	1
1.2. PERUMUSAN MASALAH	2
1.3. TUJUAN PENELITIAN.....	3
1.4. PEMBATALAN MASALAH.....	3
1.5. METODOLOGI PENELITIAN	4
1.6. SISTEMATIKA PENULISAN.....	5
BAB 2 <i>FRICTION STIR WELDING</i> (FSW).....	7
2.1. MEKANISME FSW	7
2.2. SIFAT MEKANIK FSW PADA ALUMINIUM <i>ALLOY</i>	15
2.3. APLIKASI FSW.....	18
2.4. MATERIAL ALUMINIUM	21
BAB 3 PENGUJIAN FSW PADA MATERIAL AC4CH	25
3.1. MESIN DAN ALAT UJI	26
3.2. PROSES <i>FRICTION STIR WELDING</i>	30
3.3. <i>NON DESTRUCTIVE TEST</i> (NDT)	33
3.4. <i>DESTRUCTIVE TEST</i> (DT).....	34
BAB 4 HASIL DAN ANALISIS DATA.....	39
4.1. <i>NON DESTRUCTIVE TEST</i> (NDT)	39
4.2. <i>DESTRUCTIVE TEST</i> (DT).....	47
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN PENELITIAN LEBIH LANJUT.	57
DAFTAR PUSTAKA	58

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Skema Kerja FSW	7
Gambar 2.2	Skema Kerja FSW	8
Gambar 2.3	<i>Heat Zone</i> pada FSW	8
Gambar 2.4	Skema <i>Heat Zone</i>	11
Gambar 2.5	Konfigurasi Desain <i>Tool</i> FSW	12
Gambar 2.6	Contoh Desain <i>Probe</i> pada <i>Tool</i> FSW	13
Gambar 2.7	Pembebanan pada <i>Tool</i> FSW	14
Gambar 2.8	Mesin <i>Microvickers Hardness Tester</i>	16
Gambar 2.9	Contoh Profile Hardness Area <i>Welding</i>	16
Gambar 2.10	Skema dan Hasil <i>Tensile Test</i>	17
Gambar 2.11	<i>Metallographic Macroscopic Examination</i>	17
Gambar 2.12	Kapal Ogasawara	18
Gambar 2.13	Part Pesawat Ulang Alik Nasa dengan Proses FSW	19
Gambar 2.14	FSW pada Part Pesawat Terbang –MTS System Co. 19	19
Gambar 2.15	British Rail Class 395	20
Gambar 2.16	FSW pada <i>Central Tunnel</i> Ford GT	20
Gambar 2.17	FSW pada <i>Rear Door</i> Mazda RX-8	21
Gambar 2.18	<i>Cast & Wrought Aluminum</i>	22
Gambar 2.19	Metoda pembentukan Aluminium	23
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian	25
Gambar 3.2	<i>Vertical Milling Machine & Specification</i>	26
Gambar 3.3	<i>Spin Tool</i>	27
Gambar 3.4	<i>Tensile Strength Test Specimen Orientation</i>	28
Gambar 3.5	<i>Tensile Strength Test Machine</i>	28
Gambar 3.6	<i>Microvickers Hardness Tester</i>	29
Gambar 3.7	<i>Metallographic Microscope</i>	29
Gambar 3.8	<i>X-Ray Machine</i>	30
Gambar 3.9	<i>Digital SLR Camera</i>	33
Gambar 3.10	<i>Tensile Strength Test Specimen</i> (JIS 2201)	35
Gambar 3.11	<i>Process Sectioning</i>	36

Gambar 3.12	<i>Hot Mounting Process</i>	36
Gambar 3.13	<i>Grinding & Polishing Process</i>	37
Gambar 3.14	<i>Macrostructure Examination</i>	37
Gambar 3.15	<i>Hardness Test Method</i>	38
Gambar 4.1	Spesimen Tensile Test	47
Gambar 4.2	Grafik hasil Uji Tarik.....	47
Gambar 4.3	Grafik rata-rata hasil Uji Tarik berdasarkan parameter FSW	48
Gambar 4.4	<i>Hardness & makrostruktur sampel no 7</i>	50
Gambar 4.5	<i>Hardness & makrostruktur sampel no 8</i>	51
Gambar 4.6	<i>Hardness & makrostruktur sampel no 9</i>	51
Gambar 4.7	<i>Hardness & makrostruktur sampel no 13</i>	52
Gambar 4.8	<i>Hardness & makrostruktur sampel no 14</i>	52
Gambar 4.9	<i>Hardness & makrostruktur sampel no 15</i>	53
Gambar 4.10	<i>Hardness & makrostruktur sampel no 22</i>	53
Gambar 4.11	<i>Hardness & makrostruktur sampel no 23</i>	54
Gambar 4.12	<i>Hardness & makrostruktur sampel no 24</i>	54

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Keuntungan FSW.....	9
Tabel 2.2	Contoh Parameter FSW	10
Tabel 2.3	Contoh Material <i>Tool</i> FSW dan aplikasinya.....	12
Tabel 2.4	Contoh Pembagian material berdasarkan komposisi kimia...	23
Tabel 2.5	Contoh Pembagian material berdasarkan <i>mechanical properties</i>	24
Tabel 3.1	AC4CH (JIS) – A356.0 (AISI) <i>Specification</i>	31
Tabel 3.2	Parameter FSW	32
Tabel 4.1	<i>Visual Examination & X-Ray</i>	39
Tabel 4.2	Matrix <i>Visual Examination & X-Ray</i>	46
Tabel 4.3	Matrix Hasil Uji Tarik	49
Tabel 4.4	Matrix rata-rata kekerasan masing-masing <i>Heat Zone</i>	55
Tabel 4.5	Matrix pengaruh perubahan parameter FSW.....	56

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Dewasa ini kemajuan teknologi berkembang sangat pesat dalam kehidupan keseharian, baik itu dalam kehidupan bermasyarakat ataupun di dunia industri. Salah satunya adalah teknologi dalam penyambungan permanen dua material atau pengelasan. Pada hakekatnya proses las atau pengelasan adalah proses penyambungan dua material atau lebih biasanya material metal yang menyebabkan peleburan diantara material yang disambungkan. Ini biasanya dilakukan dengan cara mencairkan kedua material dan memberikan bahan tambah pada material yang mencair sehingga pada saat material sudah dingin menjadi sambungan permanen yang kuat.

Proses pengelasan sendiri ada beberapa macam yang sudah umum diterapkan baik di masyarakat luas ataupun di dunia industri diantaranya adalah *Gas Welding (Oxyacetylene)*, *Arc welding* (GMAW, SMAW, TIG, MIG dll), *Resistance welding*, dan *Laser welding*. Proses-proses ini sudah sangat umum diterapkan, bahan, metoda dan teknologinya sudah sangat berkembang di Indonesia.

Yang masih termasuk baru dan masih sangat jarang diterapkan di Indonesia adalah *Friction Stir Welding*. Baik aplikasi maupun penelitian-penelitian yang mengarah kepadanya masih sangat jarang ditemukan di negara ini. FSW merupakan teknologi pengelasan dengan cara menggunakan alat las *nonconsumable* yang berputar untuk menghasilkan panas sehingga menghasilkan sambungan tanpa mencairkan material (*solid-state*).

Keuntungan yang didapat dari FSW adalah karena prosesnya dalam keadaan padat maka distorsinya menjadi rendah sehingga deformasi paska pengelasan bisa diminimalisir dengan kekuatan yang sebanding dengan proses las yang lain. Selain itu juga dapat diaplikasikan pada material-material yang sulit dilas bila

menggunakan teknologi konvensional serta asap yang dihasilkan sedikit karena tidak ada material yang terbakar.

Di negara lain FSW sudah banyak diaplikasikan pada di banyak bidang di dunia industri yang pada umumnya adalah industri pembuatan alat-alat yang cukup besar dan panjang pengelasan yang panjang sehingga memungkinkan material berdeformasi menjadi tinggi seperti pada industri pembuatan kapal, kereta api, pesawat terbang, pesawat luar angkasa, bahkan di dunia otomotif pun sudah sejak lama diaplikasikan.

Dari beberapa literatur menunjukkan bahwa proses ini biasanya dilakukan dengan menggunakan mesin *Adjustable Vertical Milling* semi otomatis atau bahkan full-otomatis (CNC), karena untuk menghasilkan sambungan yang seragam di sepanjang sambungan akan sangat sulit sekali bila menggunakan mesin yang masih manual. Selain itu konstruksi mesin pun harus kuat karena gaya yang dihasilkan jauh lebih besar dibandingkan dengan mesin pada saat digunakan untuk process machining. Bahkan saat ini FSW sudah dilakukan dengan menggunakan robot, sehingga pengelasan dengan kontur-kontur sulit dapat dilakukan.

Tetapi untuk mendapatkan parameter-parameter yang sesuai sehingga mendapatkan kualitas dan kekuatan sambungan yang baik, tidak mudah dilakukan. Karena parameter-parameter tersebut harus disesuaikan dengan jenis sambungan yang diinginkan, material yang disambung, desain dan material *tool*. Dan parameter tersebut sangat berbeda antara yang satu dengan yang lain nya sehingga tidak dapat diaplikasikan pada semua material.

Penelitian dalam rangka pengembangan proses FSW masih sangat jarang dilakukan, bahkan belum dilakukan, oleh karena itu sudah harus dilakukan penelitian proses ini secara lebih mendalam baik ke arah proses maupun analisis karakter-mekanikal material paska pengelasan termasuk karakter pengelasannya itu sendiri.

1.2. PERUMUSAN MASALAH

Dalam beberapa literatur menyebutkan bahwa banyak parameter yang sangat mempengaruhi terhadap kualitas dari proses pengelasan ini diantaranya adalah putaran *tool* (RPM), kecepatan translasi *tool* (*Traverse Speed*), desain dan material *tool*, material benda kerja, *downward force*, kemiringan dan *plunge depth tool*.

Parameter-parameter tersebut diatas harus diatur sedemikian rupa sehingga dapat diperoleh komposisi parameter yang sesuai dengan material yang akan disambung dan juga kualitas yang ingin diperoleh. Sehingga dengan melihat hasil pengelasannya baik secara visual maupun secara *properties* dapat mengoptimalkan proses FSW.

Parameter-parameter tersebut tidak bisa dibakukan untuk setiap material dan untuk setiap karakter pengelasan yang diinginkan. Oleh karena itu dalam penelitian ini akan berkonsentrasi pada pengaruh dari parameter-parameter diatas terhadap material yang dilas dan juga terhadap sifat mekanik dari hasil pengelasan itu sendiri.

1.3. TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan untuk melihat pengaruh perubahan parameter pemesinan terhadap sifat mekanik material yang disambung dengan proses *Friction Stir Welding*, dalam hal ini material AC4CH (JIS). Variasi parameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah bentuk *tool*, sudut *tool* dan kecepatan putar *tool*.

1.4. PEMBATAAN MASALAH

Hal yang akan dibahas pada laporan penelitian ini adalah pengaruh variasi parameter-parameter yaitu putaran *tool*, bentuk *tool* dan juga kemiringan *tool* pada proses FSW terhadap sifat mekanik yaitu :

- Kekuatan Tarik (*Tensile Strength*)
- Kekerasan material (*Hardness*)

- Visual penampang potong dari pengelasan (*Macrostructure*)

pada hasil pengelasan FSW dengan asumsi batasan sebagai berikut :

1. Material yang digunakan sebagai benda kerja yang akan dilas adalah Alumunium *cast* dengan *grade* AC4CH (JIS) atau setara dengan material A356.0(AISI) dari *maker ingot* material COMALCO (Australia).
2. Sedangkan material yang digunakan sebagai tool adalah material *tool steel grade* SLD dari Hitachi Steel.
3. Desain tool yang digunakan ada tiga macam yaitu bentuk tirus, lurus dan *ballnose*.
4. RPM *tool* yang digunakan pada percobaan kali ini adalah 1000, 1100 dan 1200 rpm.
5. Kemiringan setting *tool* yang digunakan adalah 0°, 1°, 2° dan 3°.
6. Kecepatan translasi *tool* dibuat konstan yaitu 11,5 mm/min

1.5. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Study literatur
Merupakan pengumpulan data-data, teori atau informasi yang berkaitan dengan materi bahasan yang berasal dari buku-buku, jurnal yang berasal dari dosen maupun perpustakaan.
2. Pengadaan Benda kerja
Material yang digunakan merupakan material alumunium tuang dalam bentuk ingot oleh karena itu harus dilakukan pemotongan terlebih dahulu untuk dijadikan benda kerja yang diinginkan.
3. Pembuatan *tool*
Selain pembuatan proses ini juga meliputi proses perancangannya dimulai dari dimensi hingga bentuk yang akan digunakan. Dilanjutkan pembuatan tool dengan proses bubut dan juga *heat treatment* untuk mendapatkan kekerasan yang diinginkan.

4. Persiapan mesin.

Proses ini meliputi setting mesin, alat cekam dan juga pelumasan bagian *sliding* untuk memastikan gerakan yang diinginkan halus dan sesuai dengan yang diinginkan.

5. Proses FSW

Proses dilakukan dengan cara bertahap dan sistematis untuk setiap parameter yang diinginkan, dari bentuk *tool*, rpm dan juga kemiringan *tool*.

6. Uji Mekanik

Proses yang dilakukan pada tahap ini adalah diawali dengan persiapan sampel sesuai dengan standar yang diinginkan, lalu dilanjutkan dengan pengujian material yang meliputi uji tarik, kekerasan dan juga pengamatan visual (*macrostructure*) penampang potong hasil pengelasan.

7. Analisis data

Data yang telah diolah, kemudian dianalisis terhadap grafik yang diperoleh. Dari analisis tersebut akan diperoleh kesimpulan terhadap proses pengujian.

1.6. SISTEMATIKA PENULISAN

Penulisan laporan tugas akhir ini dibagi menjadi beberapa bab agar maksud dan tujuan yang ingin disampaikan dapat tercapai dengan baik.

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan latar belakang yang melandasi penulisan skripsi, perumusan masalah, tujuan penulisan, pembatasan masalah, metodologi penelitian dan sistematika penulisan.

BAB 2 FRICTION STIR WELDING (FSW)

Bab ini berisi tentang teori-teori yang mendasari penelitian ini. Dasar teori ini meliputi dasar teori *Friction Stir Welding* dan pengujian mekanik. Dasar teori yang ada dikutip dari beberapa buku dan referensi lain yang mendukung dalam penulisan ini.

BAB 3 PENGUJIAN FSW PADA MATERIAL AC4CH

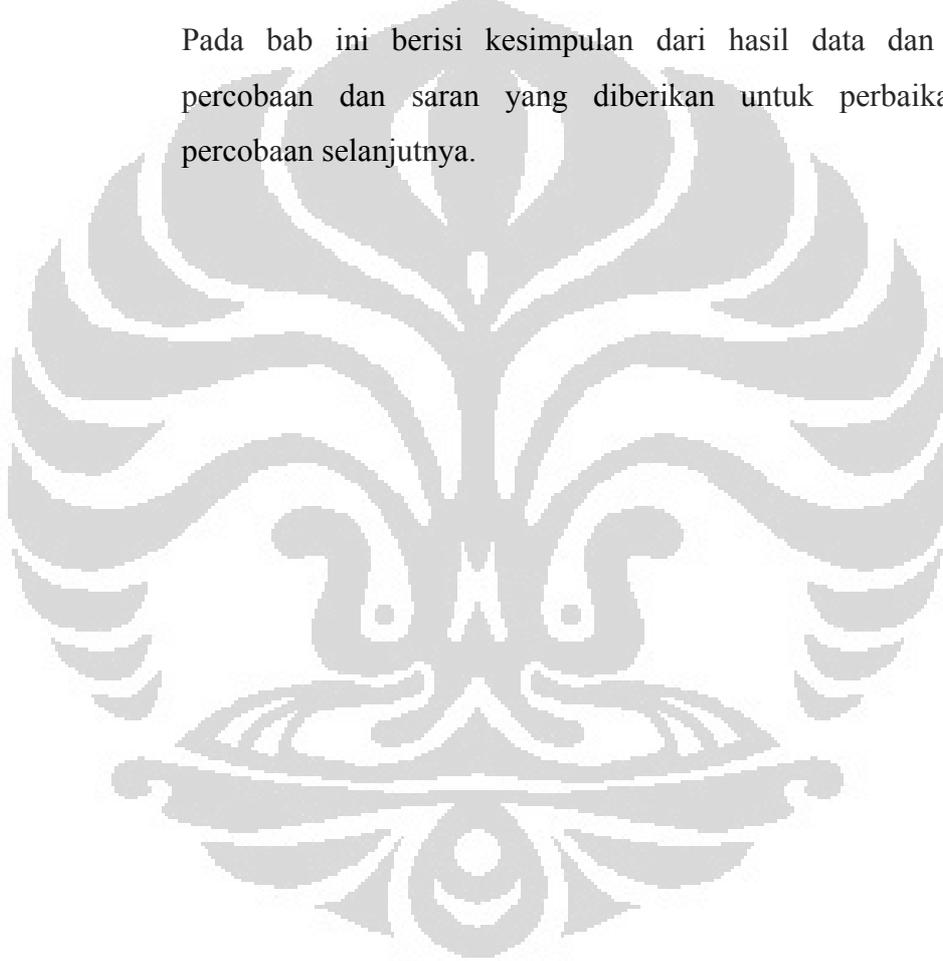
Bab ini menjelaskan tentang alat pengujian yang digunakan, metode persiapan, metode pengambilan data dan metode pengujian yang dilakukan.

BAB 4 HASIL DAN ANALISIS

Bagian ini berisikan data-data dan analisis dari hasil yang diperoleh dari proses pengambilan data dan pengujian.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN PENELITIAN LEBIH LANJUT

Pada bab ini berisi kesimpulan dari hasil data dan analisis percobaan dan saran yang diberikan untuk perbaikan pada percobaan selanjutnya.



BAB 2

FRICION STIR WELDING (FSW)

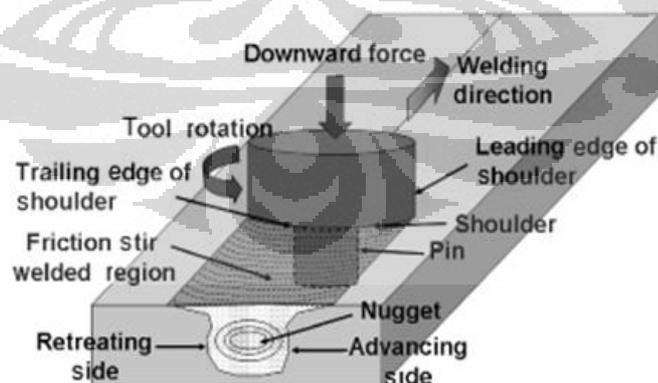
2.1. MEKANISME FSW

Friction Stir Welding (FSW) adalah proses *solid-state joining* dimana material yang dilas tidak benar-benar mencair pada saat proses berlangsung, dan proses ini diaplikasikan pada saat kita ingin mempertahankan karakter awal *base* materialnya. Proses ini pada umumnya digunakan pada material aluminium yang berukuran besar dimana pada kondisi ini material tersebut tidak mudah untuk di *Heat-Treatment* setelah proses las untuk mengembalikan karakter awalnya.

Ditemukan oleh Wayne Thomas dan rekan-rekannya di *The Welding Institute UK* pada desember 1991 [1].

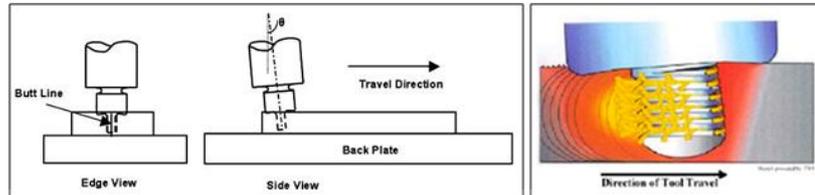
2.1.1. Prinsip Kerja

Pada proses FSW *tool* yang digunakan adalah *tool* silindris dengan *shoulder* dan memiliki *probe/nib* yang berulir/tak berulir. Tool ini diputar dengan rpm tetap dan melaju dengan kecepatan translasi yang tetap pula sepanjang *joining line* diantara dua plat benda kerja yang akan dilas [2].



Gambar 2.1 Skema Kerja FSW [2]

Part yang akan dilas harus dicekam dengan baik dan ditempatkan di atas *backing plate* sehingga beban yang diberikan pada *tool* dan diteruskan ke benda kerja tidak menyebabkan bagian bawah plat yang dilas terdeformasi.



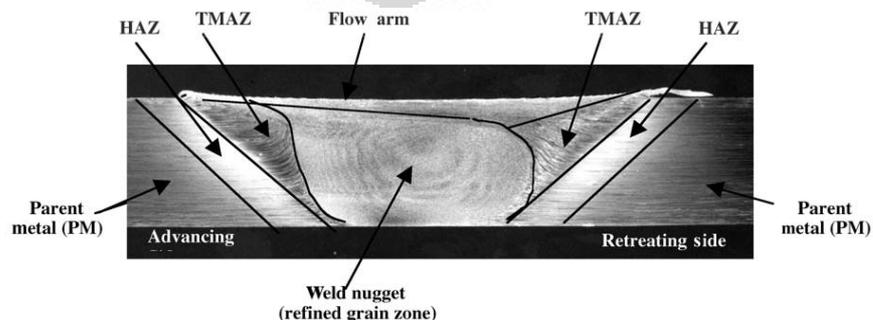
Gambar 2.2 Skema Kerja FSW [3]

Panas dihasilkan dari *shoulder* dan *probe* dari *tool* yang bergesekan dengan permukaan benda kerja yang akan dilas (gbr 1.1). Pada saat material sudah menjangcau mencair maka *tool* bergerak perlahan sepanjang *join line* yang menyebabkan proses pencampuran mekanis disertai dengan panas adiabatik di sekitar *tool* (gbr 1.1).

Dengan kata lain ada 3 fungsi utama dari *tool*, yaitu :

1. Memanaskan benda kerja dengan gesekan dan gaya yang diberikan.
2. Memindahkan material yang sudah semi cair ke lokasi baru untuk menghasilkan sambungan.
3. Sebagai penahan material panas yang berada di bawah *shoulder* [2].

Panas yang terjadi membuat material yang ada di sekitar *probe* menjadi lunak dan akibat adanya gerak rotasi dan translasi dari *tool* material yang ada di depan *probe* bergerak ke belakang *probe* dan ini terjadi terus menerus selama gerak translasi berlangsung dan menghasilkan sambungan yang diinginkan.



Gambar 2.3 Heat Zone pada FSW [2]

Akibat adanya panas yang terjadi, maka terjadi perubahan struktur mikro pada area yang dilas dan dapat dibagi menjadi 4 zona yaitu (gbr 1.3) :

1. **Base metal**, merupakan bagian *base* material yang tidak terkena pengaruh panas yang dihasilkan selama proses FSW berlangsung.
2. **Heat-Affected Zone (HAZ)**, area ini merupakan area yang paling dekat dengan *center* dari lokasi pengelasan, material pada area ini sudah mengalami siklus termal yang menyebabkan perubahan struktur mikro dan sifat mekanik dari *base* material, tetapi pada area ini tidak terjadi deformasi plastis akibat pengelasan.
3. **Thermomechanically Affected Zone (TMAZ)**, pada area ini *tool* mendeformasi material secara plastis, dan tentunya panas yang dihasilkan pada saat proses pengelasan juga membawa pengaruh terhadap material. Pada material aluminium panas tersebut memungkinkan untuk menghasilkan regangan plastis tanpa adanya proses rekristalisasi, dan biasanya ada batas yang jelas yang membedakan antara area rekristalisasi (*weld nugget*) dan area TMAZ yang terdeformasi.
4. **Weld Nugget**, adalah area yang secara utuh mengalami rekristalisasi atau terkadang disebut juga *stir zone*. Area ini merupakan area yang menghasilkan sambungan akibat gerakan *tool* [2].

Keuntungan FSW dilihat dari beberapa tinjauan :

Tabel 2.1 Keuntungan FSW [1]

Metalurgi	Lingkungan	Energi
Proses terjadi pada fasa solid	Tidak memerlukan inert gas	Memperbaiki penggunaan material
Rendah distorsi	Meminimalisir proses pembersihan permukaan	Konsumsi energi rendah
Dimensional stability and repeatability yang baik	Menghilangkan proses grinding	Mengurangi konsumsi bahan bakat karena mengurangi berat kendaraan secara keseluruhan.
Tidak ada unsur paduan yang hilang	Menghilangkan solvent pada proses degreasing	
Mechanical properties yang sangat baik pada area sambungan	Mengurangi banyak materi consumable	
Rekristalisasi struktur mikro halus	Tidak ada emisi yang berbahaya	
Tidak menghasilkan retak pada saat pembekuan		
Menggantiak fastener pada sambungan		
Dapat mengelas semua jenis material aluminium		

Keuntungan yang paling menonjol dari proses ini terutama untuk benda kerja yang memiliki dimensi besar adalah dengan tidak adanya deformasi yang di hasilkan setelah proses pengelasan selesai dilakukan. Tidak seperti yang terjadi pada proses pengelasan konvensional yang kebanyakan akan menyebabkan benda kerja berdeformasi (melengkung) [1].

Selain keuntungan-keuntungan diatas, FSW juga memiliki beberapa kerugian yaitu :

1. Meninggalkan *exit hole* pada akhir pengelasan.
2. Tidak se-fleksible *arc welding*.
3. Memerlukan gaya yang besar dalam pencekaman.
4. Parameter penting dalam FSW
5. RPM dan Kecepatan gerak translasi (*feeding*) [2]

Tabel 2.2 Contoh Parameter FSW [2]

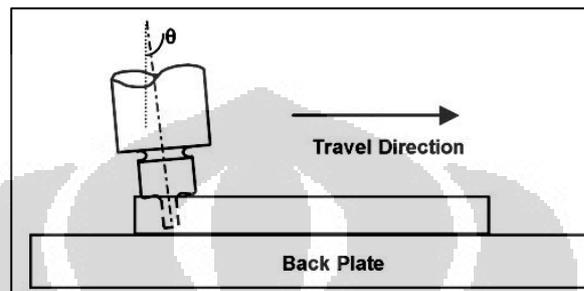
Spindle rotation rate, rpm	Welding speed, mm/s	z-axis load, kN
90	0.85	28.9
135	1.27	30
180	1.7	27.8
270	2.54	37.8
315	2.96	37.8
405	3.81	45.6
120	0.85	24.5
180	1.27	24.5
240	1.7	24.5
360	2.54	30
540	3.81	41
720	5.1	37.8
180	0.85	20
270	1.27	22
360	1.7	24
540	2.54	33.5
630	2.96	36
810	3.81	39
900	4.2	36.5

Ada dua kecepatan yang harus diperhatikan dalam proses FSW yaitu, seberapa cepat *tool* berputar (rpm) dan seberapa cepat *tool* bergerak translasi (*feeding*). Pemilihan kedua paramater ini harus dilakukan dengan tepat sehingga efisiensi proses tercapai, hasil penyambungan baik dan siklus pengelasan optimal.

Tetapi secara sederhana dapat dikatakan bahwa semakin cepat *tool* berputar, semakin cepat pula gerak translasi yang bisa dilakukan. Panas pada benda kerja

dapat ditingkatkan dengan cara mempercepat putaran (rpm) atau menurunkan *feeding*. Tetapi intinya adalah material yang ada di sekitar *tool* harus cukup panas untuk dapat menciptakan aliran material yang dibutuhkan dan meminimalisir beban pada *tool*.

2.1.2. *Depth of weld* dan kemiringan *tool*



Gambar 2.4 Skema *Friction Stir welding* [3]

Depth of Weld dapat diartikan sebagai kedalaman titik terendah *tool shoulder* yang menembus benda kerja. Sedangkan kemiringan *tool* adalah besarnya sudut yang dibuat antara sumbu *tool* dengan permukaan benda kerja, yang harus diperhatikan karena akan sangat mempengaruhi hasil dari FSW. Kemiringan yang dibuat adalah 2-4° dimana bagian belakang *shoulder* lebih rendah dibandingkan dengan bagian depannya.

2.1.3. Desain *Tool*

Hal pertama yang harus diperhatikan pada saat merancang *tool* yang akan digunakan adalah pemilihan material yang akan di gunakan, beberapa karakter material yang harus dipenuhi oleh sebuah *tool* adalah :

1. Memiliki kekuatan yang baik di suhu ruang dan di suhu tinggi.
2. Stabilitas material tetap terjaga pada saat suhu tinggi
3. Tahan gesek dan aus.
4. Material yang digunakan tidak bereaksi dengan benda kerja
5. Memiliki ketangguhan yang baik
6. *Thermal expansion* rendah
7. Mampu mesin yang baik

8. Homogen secara *microstructure* dan masa jenis
9. Tersedia luas di pasaran.

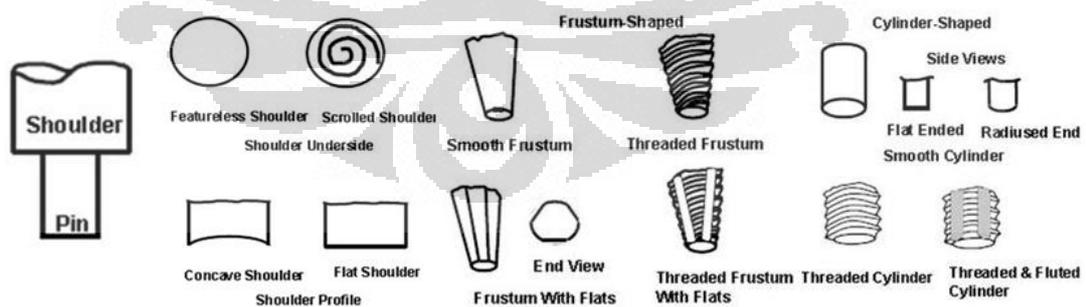
Tabel 2.3 Contoh Material *Tool* FSW dan aplikasinya [2]

Alloy	Thickness		Tool material
	mm	in.	
Aluminum alloys	<12	<0.5	Tool steel, WC-Co MP159
	<26	<1.02	
Magnesium alloys	<6	<0.24	Tool steel, WC
Copper and copper alloys	<50	<2.0	Nickel alloys, PCBN(a), tungsten alloys Tool steel
	<11	<0.4	
Titanium alloys	<6	<0.24	Tungsten alloys
Stainless steels	<6	<0.24	PCBN, tungsten alloys
Low-alloy steel	<10	<0.4	WC, PCBN
Nickel alloys	<6	<0.24	PCBN

(a) PCBN, polycrystalline cubic boron nitride

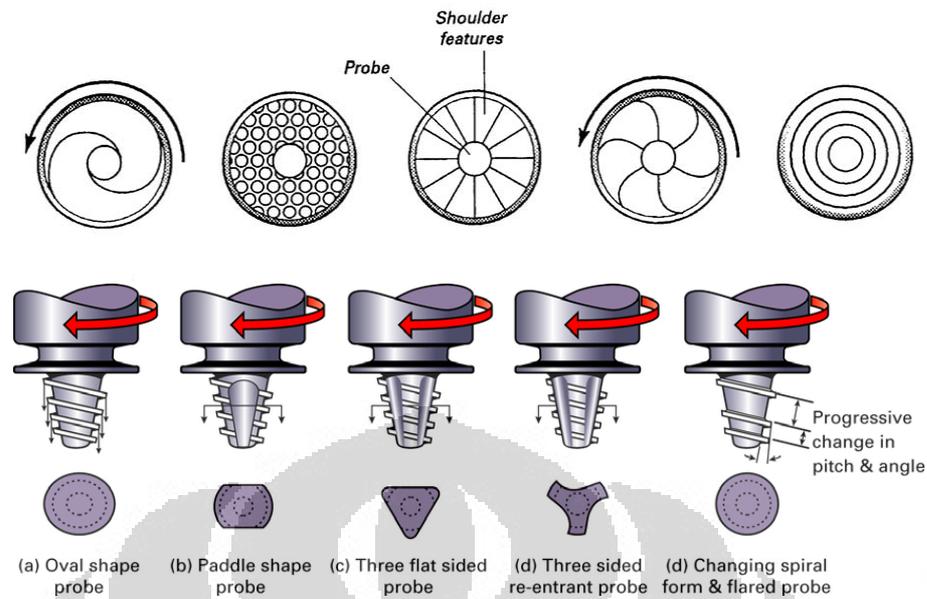
Hal yang kedua adalah bentuk dari *shoulder* dan *probe* dari *tool*, dua bagian utama dari sebuah *tool* yang di gunakan dalam FSW adalah :

Shoulder, bagian ini adalah bagian yang membangun panas dengan gesekan yang dilakukannya terhadap benda kerja, bagian ini juga yang menjadi penahan material panas yang ada di bawahnya. Disamping itu bagian ini pun yang memberikan gaya vertikal ke arah benda kerja yang menjaga kondisi *contact tool* dengan benda kerja.



Gambar 2.5 Konfigurasi Desain Tool FSW [1]

Pin/ Nib/Probe, adalah bagian yang melakukan penetrasi ke dalam benda kerja, dimana bagian dari *tool* ini adalah bagian yang mengaduk material atau mengalirkan material yang sudah melunak akibat panas yang dihasilkan *shoulder*, sehingga dapat menciptakan suatu sambungan antara dua material.



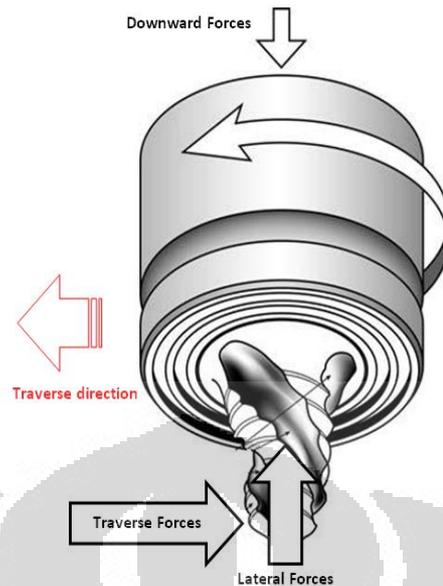
Gambar 2.6 Contoh Desain *Probe* pada *Tool* FSW [4]

Yang selanjutnya adalah ukuran dari *tool*, diameter *shoulder*, diameter *probe*, panjang *probe* dan panjang *tool* secara keseluruhan diatur sesuai dengan proses yang diinginkan yaitu ketebalan benda kerja, kemiringan *tool* pada saat proses, kekuatan sambungan dan *clearence* antar benda kerja.

2.1.4. Pembebanan Pada *Tool*

Pada saat proses FSW dilakukan, terdapat gaya-gaya yang bekerja pada *tool* yaitu :

1. **Downward forces**, merupakan gaya yang diberikan mesin kepada *tool* yang lalu ditruskan ke benda kerja dan berfungsi untuk menjaga kontak antara *tool* dengan benda kerja sehingga tingkat penetrasi dan panas yang dihasilkan tetap terjaga selama proses berlangsung



Gambar 2.7 Pembebanan pada *Tool* FSW [2]

2. **Traverse forces**, adalah gaya yang bekerja paralel dengan gerakan translasi dari *tool*, dan merupakan gaya positif yang dihasilkan akibat gerakan translasi dari *tool* itu sendiri.
3. **Lateral forces**, adalah gaya yang bekerja tegak lurus dengan arah gerak translasi dari *tool*, hal ini timbul karena adanya kemiringan dari *tool*.
4. **Torque**, adalah sejumlah gaya yang timbul akibat adanya gerak putar *tool* dan resistansi material pada saat proses FSW berlangsung [2].

2.1.5. Siklus Proses FSW

Siklus dari proses FSW dapat dibagi-bagi menjadi beberapa langkah dimana pada masing-masing langkah memiliki aliran panas dan *thermal profile* yang berbeda, siklus2 tersebut adalah [5] :

1. **Dwell Time**, Pada langkah proses pemanasan awal dilakukan pada benda kerja dengan cara membiarkan *tool* berputar tanpa gerak translasi (*stationery*). Pada langkah ini material yang ada dibawah *tool* dipanaskan hingga benar-benar lunak dan *tool* siap untuk bergerak translasi sepanjang *join line*. Biasanya pada langkah ini juga proses penetrasi *probe/nib* dimulai.
2. **Transient Heating**, pada saat *tool* mulai untuk bergerak translasi biasanya ada saat pemanasan sementara dimana pada saat itu panas yang diciptakan

dan suhu pada sekitar *tool* menjadi tidak stabil dan bergerak hingga menjadi *steady-state* pada saat *tool* sudah mulai bergerak.

3. ***Pseudo steady-state***, walaupun pada saat proses berlangsung terjadi fluktuasi suhu pada area sekitar *tool* tetapi secara termal pada area tersebut sudah konstan paling tidak secara mikrostruktur.
4. ***Post Steady State***, pada saat menjelang akhir dari proses pengelasan, panas akan meningkat pada sekitar *tool*.

2.2. SIFAT MEKANIK FSW PADA ALUMINIUM ALLOY

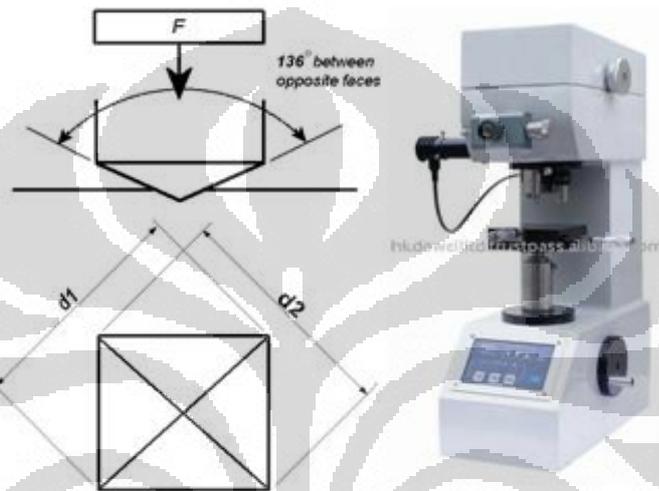
Dalam FSW terdapat banyak parameter baik yang terkontrol ataupun yang tidak terkontrol, dalam hal ini diperlukan beberapa pengujian untuk melihat sifat mekanik dari material setelah dilakukan FSW. Dari sifat mekanik tersebut kita dapat mengilustrasikan parameter-parameter tersebut di antaranya [1] :

1. Kecepatan gerak translasi *tool*, berpengaruh terhadap heat input
2. Kecepatan putar *tool*, berpengaruh terhadap heat input
3. *Tool design*, meliputi dimensi & bentuk *shoulder*, bentuk, jenis dan ukuran probe.
4. Kemiringan *tool*, bergantung pada bentuk dan ukuran *shoulder* dari *tool*, tapi biasanya 0°- 3°.
5. Ketebalan material, mempengaruhi tingkat pendinginan dan temperatur gradien dari material.
6. Paduan material, parameter FSW tidak bisa disamakan untuk semua material, masing masing material memiliki parameter berbeda-beda.

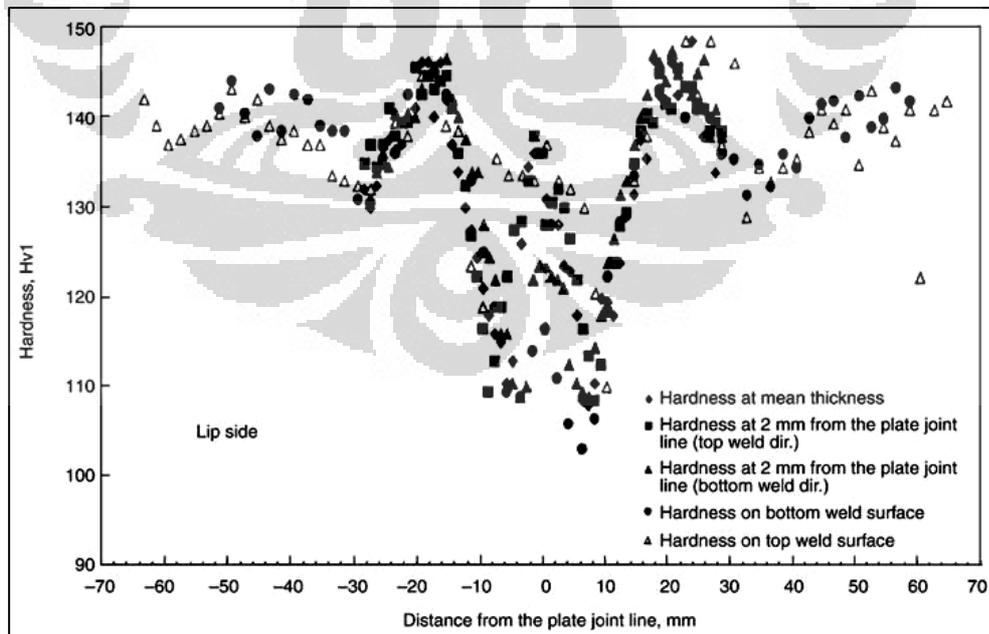
Mechanical properties yang diaplikasikan pada hasil FSW biasanya adalah :

2.2.1. Hardness

Kekerasan material digunakan untuk melihat perbedaan karakter material di sekitar area *weld zone*, hal ini dilakukan dengan menggunakan *Microvickers Hardness Tester*. Pengujian ini dilakukan di sepanjang *weld zone*. Dan hasil dari pengujian ini biasanya dimuat dalam bentuk grafik.



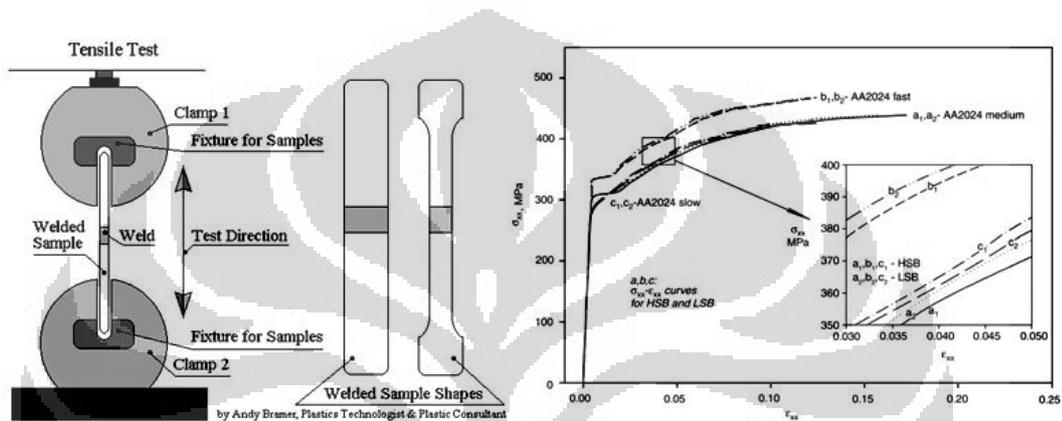
Gambar 2.8 Mesin *Microvickers Hardness Tester* [9]



Gambar 2.9 Contoh *Profile Hardness Area Welding* [1]

2.2.2. Tensile Test

Pengujian *tensile strength test* dilakukan untuk menguji kekuatan dari sistem pengelasan FSW secara keseluruhan. Pengujian ini dilakukan dengan cara membuat spesimen test dengan bentuk dan ukuran sesuai dengan standar yang ditentukan. Lalu spesimen tersebut ditarik hingga putus dengan menggunakan mesin uji tarik. Dari pengujian ini diperoleh nilai kekuatan dari hasil FSW tersebut.

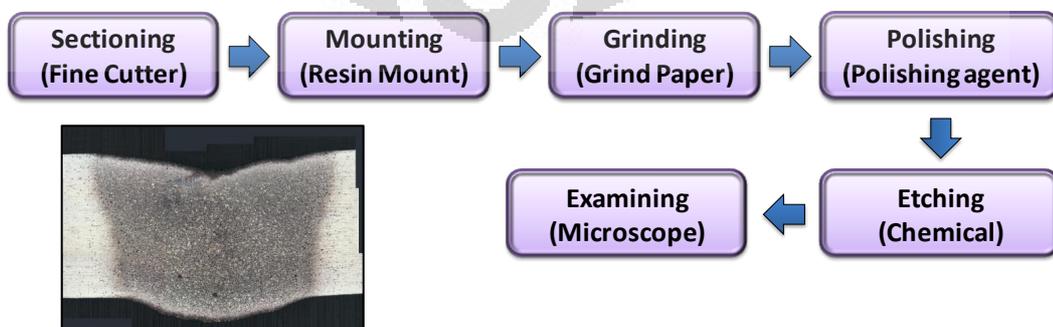


Gambar 2.10 Skema dan Hasil *Tensile Test* [9]

2.2.3. Metallographic Macroscopic Examination.

Hal ini bukan merupakan pengujian akan tetapi hanya berupa pengamatan visual makroskopik penampang material paska proses FSW. Tujuan nya adalah untuk melihat secara langsung perilaku dan aliran material hasil proses FSW.

Tahapan dalam *metallographic Macroscopic Examination* adalah sebagai berikut :



Gambar 2.11 *Metallographic Macroscopic Examination*

2.3. APLIKASI FSW

Aplikasi FSW di Indonesia khususnya memang tidak begitu luas, tetapi di negara-negara maju seperti Jepang, Amerika, Inggris dan beberapa negara di Eropa sudah sejak lama mengaplikasikan teknologi ini. Terutama pada industri alat-alat transportasi. Keuntungan bahwa proses ini tidak menghasilkan deformasi pada part paska proses, membuat industri-industri tersebut menggunakan proses ini. Disamping itu pada industri otomotif pun sudah mulai diaplikasikan, terutama pada proses pengelasan material-material yang tidak mudah di las dengan *arc welding* [1].

2.3.1. Industri Pembuatan Kapal



Gambar 2.12 Kapal Ogasawara

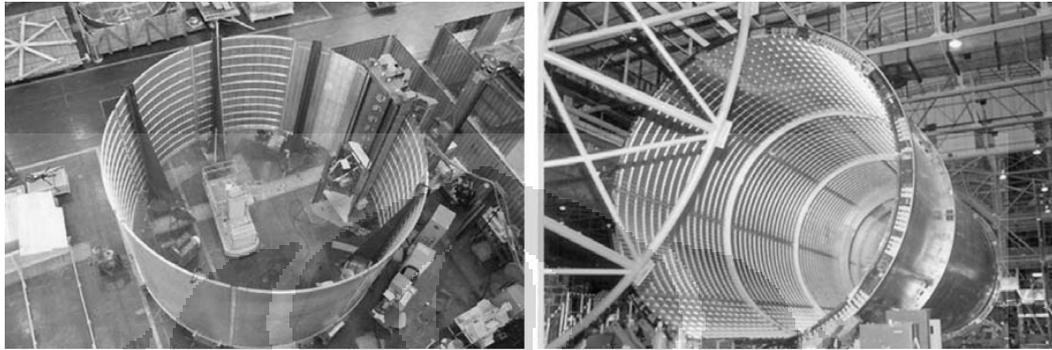
Aluminium Aanensen. Panel-panel yang sama pun dibuat di perusahaan lain. Kapal super Liner Ogasawara yang dibuat di perusahaan pembuat kapal Jepang yaitu Mitsui Engineering and Shpbuilding merupakan kapal terbesar yang dibuat dengan mengaplikasikan FSW. Begitu pun dengan beberapa perusahaan di Cina dan Selandia Baru pun sudah mengaplikasikan teknologi ini.

Dua perusahaan aluminium ekstrusi Skandinavia pada tahun 1996 mulai mengaplikasikan teknologi ini secara komersial, dimana yang pertama dibuat adalah panel-panel dari lemari pendingin ikan di SAPA, begitu juga dengan pembuatan platform pendaratan helikopter di Marine

2.3.2. Industri Pesawat Terbang

Boeing mengaplikasikan FSW pada pesawat Delta II dan Delta IV, dan unit pertama yang dibuat dengan *interstage module* dengan menggunakan FSW diluncurkan pada tahun 1999. Proses ini pun diaplikasikan oleh NASA pada saat

pembuatan *External Tank* untuk pesawat ulang-alik Ares I, Falcon I dan Falcon 9 roket di Spacer X. Dan beberapa bagian seperti *nail ramp* pada *cargo* Boeing C-17 Globemaster III serta pada *cargo beams* pesawat *Boeing 747 Large Cargo Freighter* adalah pesawat komersil pertama yang mengaplikasikan teknologi ini.



Gambar 2.13 Part Pesawat Ulang Alik Nasa dengan Proses FSW [2]



Gambar 2.14 FSW pada Part Pesawat Terbang –MTS System Co [2].

2.3.3. Industri Kereta api

Sejak tahun 1997 panel atap kereta api dibuat dari aluminium ekstrusi di Hydro Marine Aluminium dengan menggunakan mesin FSW. Pembuatan kereta yang menggunakan teknologi FSW contohnya adalah :

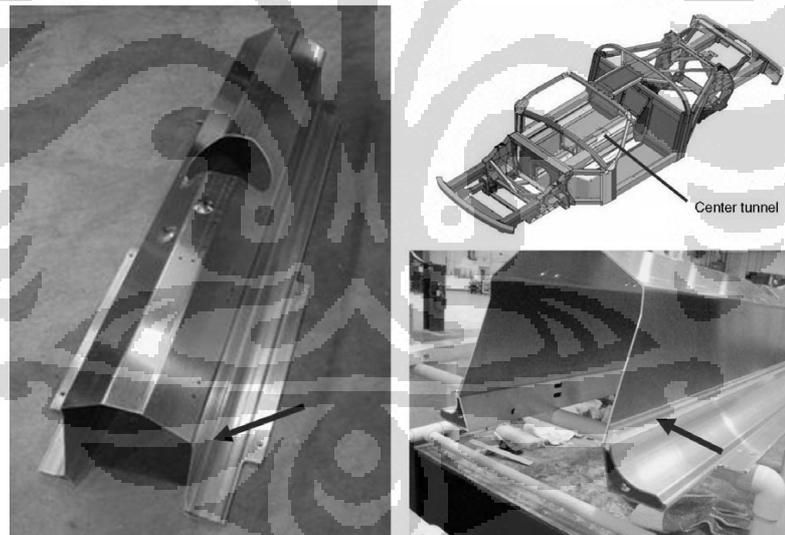
1. DSB class SA-SD trains dari Alstom LHB
2. Victoria Line trains dari London Underground
3. Bombardier's Electrostar trains dari Sapa Group
4. British Rail Class 390 Pendolino
5. Shinkansen dari Sumitomo Light Metal



Gambar 2.15 British Rail Class 395[2]

2.3.4. Industri Otomotif

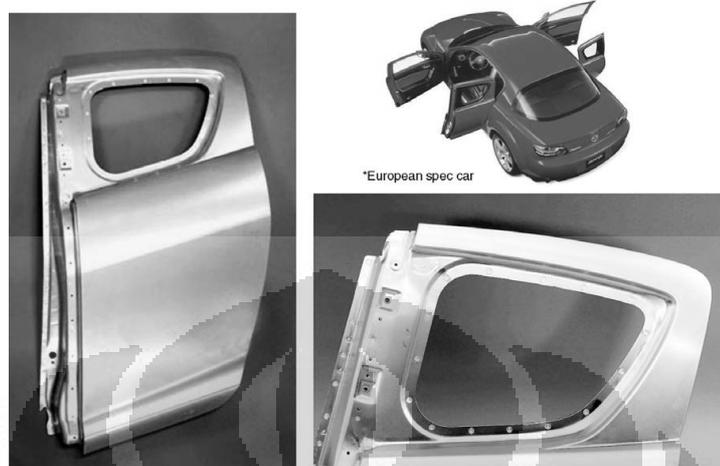
Komponen engine, tulang pada frame, penopang pada suspensi pada mobil keluaran Lincoln (Tower Automotive) adalah part otomotif pertama yang mengaplikasikan teknologi FSW. Selain itu juga lubang angin pada Ford GT juga sudah mengaplikasikan teknologi ini.



Gambar 2.16 FSW pada *Central Tunnel* Ford GT [2]

Di Jepang FSW diaplikasikan untuk penopang pada suspensi di Showa Denko dan juga untuk menyambungkan lembaran aluminium dengan rangka baja pada penutup bagasi Mazda RX-5. *Friction Spot Welding* juga dengan sukses diaplikasikan pada pada pintu belakang Mazda RX-8 dan penutup bagasi pada Toyota Prius. Pada seat belakang Volvo V70 juga sudah mengaplikasikan

teknologi ini. Kolom-B pada Audy R8 juga sudah menggunakan FSW pada sambungan antara dua material aluminium kempa di Austria.



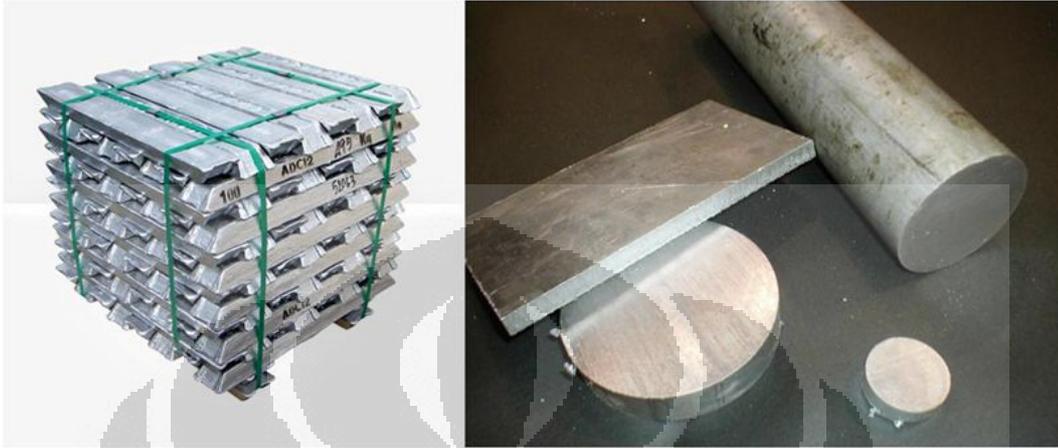
Gambar 2.17 FSW pada *Rear Door* Mazda RX-8 [2]

2.4. MATERIAL ALUMINIUM

Aluminium dalam hal ini aluminium paduan adalah paduan material dimana Aluminium menjadi bahan utamanya sedangkan pepadu yang biasanya sering digunakan adalah Tembaga(Cu), Silikon(Si), Magnesium(Mg), Mangan (Mn) dan Zinc(Zn).

Aluminium dikelompokkan menjadi dua bagian besar, yaitu Aluminium Tuang (*Cast*) dan Aluminium Tempa (*Wrought*), dan keduanya dibagi lagi kedalam sub kelompok menjadi *Heat Treatable* dan *Non-Heat Treatable*. 85% dari material diatas biasanya digunakan untuk material tempa dalam bentuk *rolled plate*, kertas dan material ekstrusi. Aluminium tuang memiliki biaya total yang lebih rendah bila dibandingkan dengan Aluminium tempa karena aluminium jenis ini memiliki titik lebur yang rendah, sehingga energi yang dibutuhkan lebih rendah, tetapi memiliki kekuatan tarik yang lebih rendah pula dibandingkan dengan *wrought product*.

Material ini banyak digunakan pada struktur atau part-part yang menginginkan beban yang ringan dan tahan karat, karena material ini memiliki berat jenis rendah dan ketahanan karat yang baik [6].



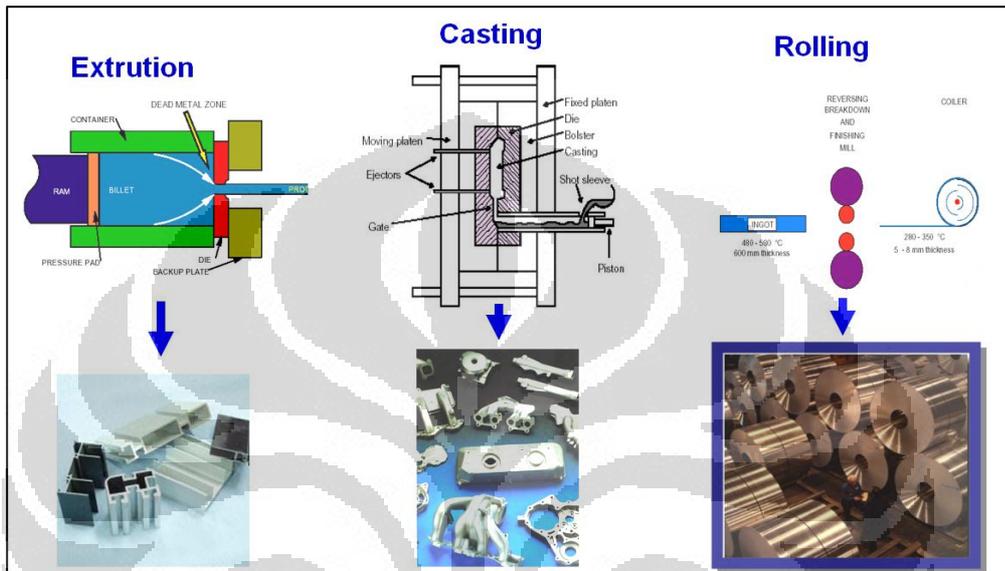
Gambar 2.15 *Cast & Wrought Aluminum*

Pada dasarnya Aluminium memiliki beberapa karakter utama yaitu :

1. Ringan: berat jenis rendah (2,7 gr/cm³), hanya 1/3 baja.
2. *Ratio strength to weight* (kekuatan/berat) : sangat baik.
3. Temperatur lebur rendah (660OC).
4. Sehingga peralatan peleburan lebih sederhana.
5. Sifat mampu cor (*castability*) sangat baik.
6. Sifat mampu mesin (*machinability*) baik.
7. Sifat permukaan (*surface finish*) baik.
8. Ketahanan korosi baik.
9. Konduktor panas dan listrik yang baik.
10. Mudah dipadu (*alloying*) dengan unsur lain untuk menghasilkan sifat yang diinginkan.
11. BJ rendah, mudah tercampur dengan pengotor (*dross*) oksida misal Al₂O₃ yang BJ (2.1 gr/mm³) nya hampir sama BJ Aluminium Cair (2.3 gr/mm³).
12. Sangat mudah mengikat gas Hidrogen dalam kondisi cair



13. Sebaiknya menggunakan *degasser* atau GBF (*Gas Bubble Flootation = Argon Treatment*).
14. Mengalami penyusutan (*shrinkage*) yang cukup Tinggi 3.5 – 8.5 % (rata-rata 6 %) [7].



Gambar 2.19 Metoda pembentukan Aluminium [7]

Menurut standar yang digunakan di dunia seperti JIS, ASM, ISI, ISO dll, material aluminium dibagi kedalam beberapa kelas dengan penamaan sesuai dengan standard yang digunakan. Pengklasifikasian ini berdasarkan komposisi kimia paduan nya dan juga sifat mekaniknya.

Tabel 2.4 Contoh Pembagian material berdasarkan komposisi kimia [8]

	Japan											
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Ni	Zn	Sn	Ti	Pb	Cr	similar to*
AC1A	1,2 max	0,4 max	4,0-5,0	0,3 max	0,2 max	0,05 max	0,3 max	0,05 max	0,25 max	0,05 max	0,05 max	
AC1B	0,2 max	0,3 max	4,2-5,0	0,1 max	0,2-0,35	0,05 max	0,1 max	0,05 max	0,05-0,3	0,05 max	0,05 max	AC-21100, ZL201
AC2A	4,0-6,0	0,7 max	3,0-4,5	0,55 max	0,25 max	0,3 max	0,55 max	0,05 max	0,2 max	0,15 max	0,15 max	AC-45100 / AC-45200
AC2B	5,0-7,0	0,8 max	2,0-4,0	0,5 max	0,5 max	0,35 max	1,0 max	0,1 max	0,2 max	0,2 max	0,2 max	AC-45200, 318.0 / 319.0, ZL107
AC3A	10,0-13,0	0,7 max	0,25 max	0,35 max	0,15 max	0,1 max	0,3 max	0,1 max	0,2 max	0,1 max	0,15 max	AC-44000 / AC-44100 / AC-44200 / AC-47000, ZL102
AC4A	8,0-10,0	0,4 max	0,25 max	0,3-0,6	0,35-0,6	0,1 max	0,25 max	0,05 max	0,2 max	0,1 max	0,15 max	AC-43200 / AC-43300, 359.0, ZL104
AC4B	7,0-10,0	0,8 max	2,0-4,0	0,5 max	0,5 max	0,35 max	1,0 max	0,1 max	0,2 max	0,2 max	0,2 max	AC-46200, 332.0
AC4C	6,5-7,5	0,4 max	0,25 max	0,35 max	0,25-0,45	0,1 max	0,35 max	0,05 max	0,2 max	0,1 max	0,1 max	AC-42000 / AC-42200, 356.0 / A356.0 / A444.0, ZL101 / ZL101A
AC4CH	6,5-7,5	0,17 max	0,2 max	0,1 max	0,3-0,45	0,05 max	0,1 max	0,05 max	0,2 max	0,05 max	0,05 max	AC-42100, ZL101 / ZL101A / ZL114A
AC4D	4,5-5,5	0,5 max	1,0-1,5	0,5 max	0,45-0,6	0,2 max	0,3 max	0,05 max	0,2 max	0,1 max	0,15 max	AC-45300, 355.0, ZL105 / ZL105A
AC5A	0,6 max	0,7 max	3,5-4,5	0,35 max	1,3-1,8	1,7-2,3	0,15 max	0,05 max	0,2 max	0,05 max	0,15 max	242.0
AC7A	0,2 max	0,25 max	0,1 max	0,6 max	3,6-5,5	0,05 max	0,15 max	0,05 max	0,2 max	0,05 max	0,15 max	AC-51300
AC8A	11,0-13,0	0,7 max	0,8-1,3	0,15 max	0,8-1,3	0,8-1,5	0,15 max	0,05 max	0,2 max	0,05 max	0,1 max	AC-48000, ZL108 / ZL109
AC8B	8,5-10,5	0,8 max	2,0-4,0	0,5 max	0,6-1,5	0,1-1,0	0,5 max	0,1 max	0,2 max	0,1 max	0,1 max	
AC8C	8,5-10,5	0,8 max	2,0-4,0	0,5 max	0,6-1,5	0,5 max	0,5 max	0,1 max	0,2 max	0,1 max	0,1 max	
AC9A	22,0-24,0	0,7 max	0,5-1,6	0,5 max	0,6-1,5	0,5-1,5	0,2 max	0,1 max	0,2 max	0,1 max	0,1 max	
AC9B	18,0-22,0	0,7 max	0,5-1,6	0,5 max	0,6-1,5	0,5-1,5	0,2 max	0,1 max	0,2 max	0,1 max	0,1 max	

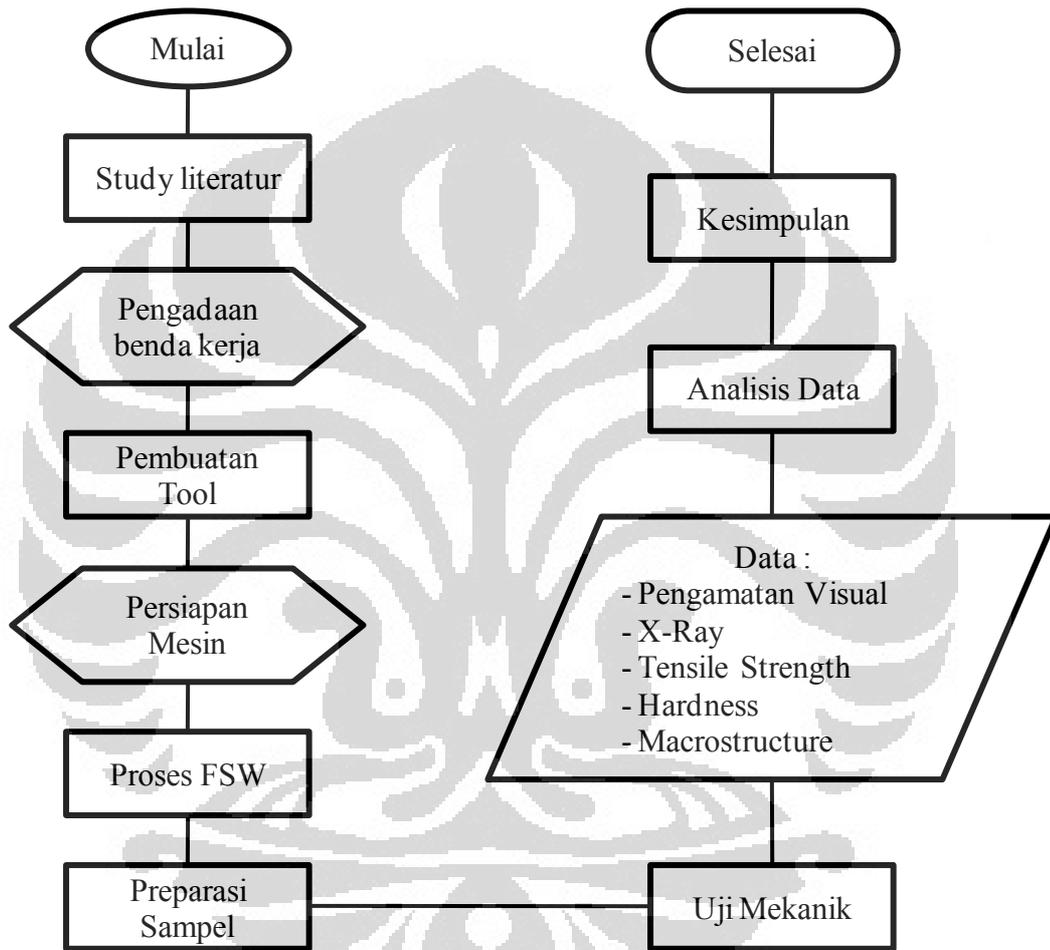
Tabel 2.5 Contoh pembagian material berdasarkan sifat mekanik [8]

Alloy type		Temper	Tensile strength (min) [ksi] ([MPa])	Yield strength (min) [ksi] ([MPa])	Elongation in 2 in [%]
ANSI	UNS				
201.0	A02010	T7	60.0 (414)	50.0 (345)	3.0
204.0	A02040	T4	45.0 (310)	28.0 (193)	6.0
242.0	A02420	O	23.0 (159)	N/A	N/A
		T61	32.0 (221)	20.0 (138)	N/A
A242.0	A12420	T75	29.0 (200)	N/A	1.0
295.0	A02950	T4	29.0 (200)	13.0 (90)	6.0
		T6	32.0 (221)	20.0 (138)	3.0
		T62	36.0 (248)	28.0 (193)	N/A
		T7	29.0 (200)	16.0 (110)	3.0
319.0	A03190	F	23.0 (159)	13.0 (90)	1.5
		T5	25.0 (172)	N/A	N/A
		T6	31.0 (214)	20.0 (138)	1.5
328.0	A03280	F	25.0 (172)	14.0 (97)	1.0
		T6	34.0 (234)	21.0 (145)	1.0
355.0	A03550	T6	32.0 (221)	20.0 (138)	2.0
		T51	25.0 (172)	18.0 (124)	N/A
		T71	30.0 (207)	22.0 (152)	N/A
C355.0	A33550	T6	36.0 (248)	25.0 (172)	2.5
356.0	A03560	F	19.0 (131)	9.5 (66)	2.0
		T6	30.0 (207)	20.0 (138)	3.0
		T7	31.0 (214)	N/A	N/A
		T51	23.0 (159)	16.0 (110)	N/A
		T71	25.0 (172)	18.0 (124)	3.0
A356.0	A13560	T6	34.0 (234)	24.0 (165)	3.5
		T61	35.0 (241)	26.0 (179)	1.0
443.0	A04430	F	17.0 (117)	7.0 (48)	3.0
B443.0	A24430	F	17.0 (117)	6.0 (41)	3.0
512.0	A05120	F	17.0 (117)	10.0 (69)	N/A
514.0	A05140	F	22.0 (152)	9.0 (62)	6.0
520.0	A05200	T4	42.0 (290)	22.0 (152)	12.0
535.0	A05350	F	35.0 (241)	18.0 (124)	9.0
705.0	A07050	T5	30.0 (207)	17.0 (117) [†]	5.0
707.0	A07070	T7	37.0 (255)	30.0 (207) [†]	1.0
710.0	A07100	T5	32.0 (221)	20.0 (138)	2.0
712.0	A07120	T5	34.0 (234)	25.0 (172) [†]	4.0
713.0	A07130	T5	32.0 (221)	22.0 (152)	3.0
771.0	A07710	T5	42.0 (290)	38.0 (262)	1.5
		T51	32.0 (221)	27.0 (186)	3.0
		T52	36.0 (248)	30.0 (207)	1.5
		T6	42.0 (290)	35.0 (241)	5.0
		T71	48.0 (331)	45.0 (310)	5.0

BAB 3

PENGUJIAN FSW PADA MATERIAL AC4CH

Dalam melakukan penelitian ini ada beberapa langkah yang dilakukan, dan dituangkan dalam flowchart dibawah ini :



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.1. MESIN DAN ALAT UJI

3.1.1. Milling Machine

Pertama, mesin yang digunakan untuk proses FSW adalah *Adjustable Vertical Milling Machine*. Mesin merupakan mesin milling vertikal dengan penggerak meja otomatis sehingga gerakan meja pada saat FSW bisa lebih stabil, hanya saja pengaturan kecepatan mejanya sangat terbatas sehingga digunakan satu kecepatan saja yaitu 13 mm/min dengan parameter lain yang divariasikan.

Selain hal di atas mesin ini pun dapat diatur kemiringan spindelnya sehingga, kebutuhan proses untuk memiringkan *tool* bisa dipenuhi dan juga kemudahan dalam mengatur kecepatan putar spindle membuat pergantian parameter rpm *tool* menjadi lebih cepat.

Dan diatas itu semua mesin ini pun memiliki dimensi dan konstruksi yang cukup mumpuni untuk melakukan proses FSW yang membutuhkan konstruksi yang *rigid* karena gaya-gaya yang terjadi pada proses ini dan harus diterima oleh mesin cukup besar.



BRAND	Dah Lih
Model	DL-GH950
Type	Vertical Mill
Spindle Speed	Max. 3800 Rpm
X travel (longitudinal)	950 mm (37.4 in)
Y travel (transversal)	350 mm (13.8 in)
Z travel (vertical)	470 mm (18.5 in)
Table length	1350 mm (53.1 in)
Table width	310 mm (12.2 in)
Table area (mm x mm)	1350x310
Spindle speeds vertical:	80-3800
Spindle speeds horizontal:	20-2040
Spindle motor:	5 HP

Gambar 3.2 *Vertical Milling Machine & Specification* (Dah Lih – Taiwan)

3.1.2. Tool

Tool merupakan bagian utama dari proses FSW. Ada tiga desain *tool* yang dibuat untuk percobaan kali ini, secara umum bentuk dan ukurannya bisa dikatakan sama, perbedaannya terletak pada bentuk *probe*-nya saja.

Probe yang dibuat merupakan probe tanpa ulir dan tanpa alur dan dibuat dalam tiga bentuk yaitu :

1. Tirus
2. Lurus
3. *Ballnose*

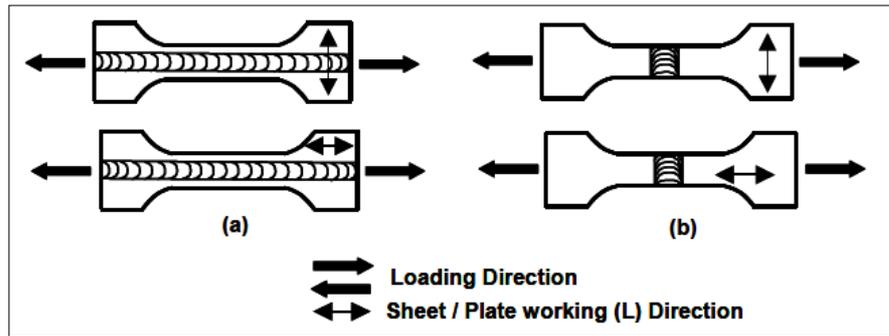
Dibuat dari material SLD dari Hitachi steel dengan proses bubut dan diakhiri dengan proses heat treatment untuk mencapai kekerasan yang diinginkan.



Gambar 3.3 Tool

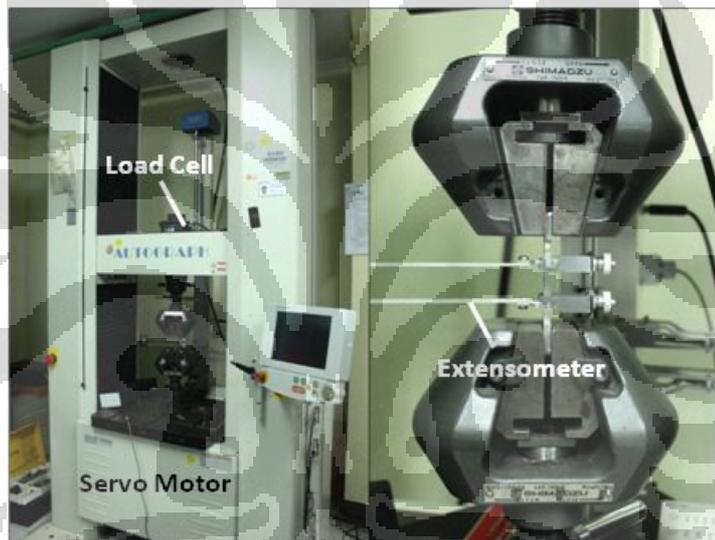
3.1.3. Mesin Uji Tarik

Setelah proses FSW selesai dilakukan dengan variasi parameternya, maka hal selanjutnya yang dilakukan adalah membuatnya menjadi spesimen uji tarik untuk selanjutnya dilakukan pengujian kekeuaan tarik (*tensile strength*) pada spesimen tersebut.



Gambar 3.4 *Tensile Strength Test Specimen Orientation* [3]

Mesin yang digunakan adalah mesin *Universal Testing Machine* dengan merk Shimadzu dan dengan beban maksimal yang dapat diuji adalah 100 kN.



Gambar 3.5 *Tensile Strength Test Machine*

Data yang diambil oleh mesin ini yang kemudian diolah menjadi data-data sifat mekanik adalah :

1. *Force* (beban), data ini diperoleh dari pembacaan *load cell* pada mesin.
2. *Elongation* (regangan), diperoleh dari pembacaan *extensometer*.
3. *Displacement*, diperoleh dari putaran motor servo yang menggerakkan mesin

Data yang dihasilkan dari mesin ini merupakan data digital yang diproses dengan komputer, oleh karena itu grafik *stress-strain* dapat langsung diperoleh.

3.1.4. Mesin Uji Kekerasan Vickers

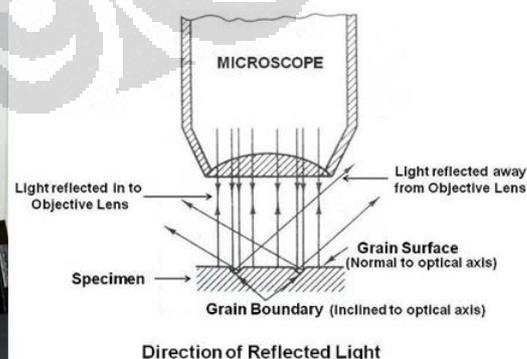
Setelah proses preparasi sample selesai dilakukan maka langkah selanjutnya yang dilakukan adalah menguji kekerasan dari material hasil pengelasan. Pengujian kekerasan yang dilakukan disini adalah membuat profil kekerasan pada *weld zone* hasil dari pengelasan. Maka mesinyang digunakan adalah mesin *Microvickers Hardness Tester*.



Gambar 3.6 *Microvickers Hardness Tester*

3.1.5. Metallographic Microscope

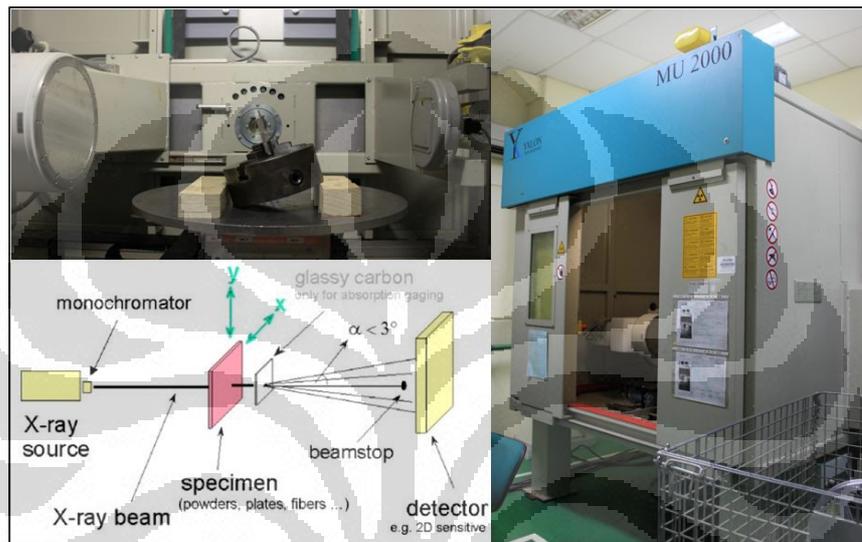
Alat ini digunakan untuk melakukan pengamatan terhadap penampang potong spesimen hasil dari proses FSW. Ini berupa pengamatan visual makroskopik penampang material paska proses FSW. Tujuannya adalah untuk melihat secara langsung perilaku dan aliran material hasil proses FSW.



Gambar 3.7 *Metallographic Microscope*

3.1.6. X-Ray

Mesin ini digunakan untuk *non destructive test*, artinya kita bisa melihat kondisi bagian dalam spesimen yang sudah dilas dengan FSW tanpa merusaknya, yaitu dengan menggunakan sinar X. Dengan ini kita bisa melihat apakah bagian dalam dari hasil pengelasan terdapat keropos atau kebocoran tanpa harus memotong benda kerja.



Gambar 3.8 X-Ray Machine

3.2. PROSES FRICTION STIR WELDING

Sebelum masuk ke langkah pengujian material, yang pertama dilakukan adalah melakukan percobaan FSW itu sendiri. Langkah-langkah yang dilakukan dalam proses ini adalah :

Persiapan sampel, karena material yang akan dijadikan benda kerja adalah material ingot aluminium casting, maka ingot tersebut harus dipotong terlebih dahulu menjadi benda kerja dengan ketebalan ± 7 mm. Secara umum *properties* material AC4CH yang digunakan adalah seperti yang terlihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 3.1 AC4CH (JIS) – A356.0 (AISI) *Specification*[10]

Sifat mekanik	Metric	Comments
Hardness, Brinell	65.0 - 95.0	AA; Typical; 500 g load; 10 mm ball
Hardness, Knoop	103	Estimated from Brinell Hardness.
Hardness, Rockwell B	49	Estimated from Brinell Hardness.
Hardness, Vickers	90	Estimated from Brinell Hardness.
Tensile Strength, Ultimate	≥ 228 MPa	AA
Tensile Strength, Yield	≥ 152 MPa	AA; 0.2% Offset
Elongation at Break	≥ 3.00 %	AA; in 2 in. (50 mm) or 4D
Modulus of Elasticity	72.4 GPa	In Tension; elastic modulus in compression is typically about 2% higher for aluminum alloys.
Compressive Yield Strength	185 MPa	
Poissons Ratio	0.330	
Fatigue Strength	90.0 MPa @# of Cycles 5.00e+8	Notch Status unknown, R.R. Moore Test
Machinability	50%	0-100 Scale (100=best)
Shear Modulus	27.2 GPa	
Shear Strength	205 MPa	
Electrical Properties		
Electrical Resistivity	0.00000440 ohm-cm	AA; Typical 39% IACS Conductivity
Thermal Properties		
Specific Heat Capacity	0.963 J/g-°C	
Thermal Conductivity	151 W/m-K	AA; Typical at 25°C
Melting Point	557.2 - 612.8 °C	AA; Typical
Solidus	557.2 °C	AA; Typical
Liquidus	612.8 °C	AA; Typical
Processing Properties		
Melt Temperature	677 - 816 °C	
Solution Temperature	535 - 540.6 °C	hold at temperature for 8 hrs; cool in water at 150 to 212°F
Aging Temperature	152 - 157 °C	hold at temperature 3 - 5 hrs; start with solution heat-treated material
Casting Temperature	677 - 788 °C	
Component Elements Properties		
Aluminum, Al	90.1 - 93.3 %	As remainder
Copper, Cu	≤ 0.25 %	
Iron, Fe	≤ 0.60 %	

Magnesium, Mg	0.20 - 0.45 %	
Manganese, Mn	<= 0.35 %	
Other, each	<= 0.050 %	
Other, total	<= 0.15 %	
Silicon, Si	6.50 - 7.50 %	
Titanium, Ti	<= 0.25 %	
Zinc, Zn	<= 0.35 %	

Pembuatan *tool*, langkah ini yaitu proses pembuatan *tool* dengan 3 bentuk alternatif yang dibuat dengan proses bubut dan diakhiri dengan proses *heat treatment* untuk mencapai kekerasan yang diinginkan.

Persiapan mesin, dalam memepersiapkan mesin yang harus dilakukan adalah memastikan bahwa mesin tersebut siap digunakan untuk proses yaitu dengan memasang alat cekam, melumasi bagian *sliding part* dan menyiapkan alat-alat yang nantinya dibutuhkan pada saat proses.

Proses FSW, setelah semuanya disiapkan maka proses Friction Stir Welding pun siap dilakukan, proses dilakukan dalam 27 kali percobaan dengan variasi parameter seperti yang ada dalam tabel berikut ini :

Tabel 3.2 Parameter FSW

Specimen No	Probe Shape	Tool Tilt	Rpm	Feed Rate (setting 15 mm/mnt)	
1	Tirus	0°	1000	11,5	
2			1100		
3			1200		
4		1°	1000		
5			1100		
6			1200		
7		2°	1000		
8			1100		
9			1200		
10		Lurus	1°		1000
11					1100
12					1200
13			2°		1000
14					1100

15	Lurus	3°	1200	11,5
16			1000	
17			1100	
18			1200	
19	Ballnose	1°	1000	
20			1100	
21			1200	
22		2°	1000	
23		2°	1100	
24			1200	
25		3°	1000	
26			1100	
27			1200	

Detail dari proses ini akan dijelaskan lebih lanjut dan merinci pada materi pembahasan *Pengembangan Sistem Friction Stir Welding(FSW) Pada Material AC4CH*.

Hasil dari proses di atas selanjutnya menjadi bahan penelitian pengaruh variasi parameter-parameter diatas terhadap hasil dari pengelasan dan sifat mekanik yang dihasilkan.

3.3. NON DESTRUCTIVE TEST(NDT)

Sebelum masuk proses pengujian yang sifatnya merusak (DT), sebaiknya pengambilan data dimulai dengan pengujian yang tidak merusak (NDT). Ada dua hal yang bisa dilakukan setelah percobaan FSW dilakukan dan sebelum pengujian destructive dimulai yaitu pengamatan visual permukaan hasil pengelasan dan pengujian X-Ray.

3.3.1. Visual Examination



Gambar 3.9 Digital SLR Camera

Merupakan hal yang pertama kali dilakukan setelah percobaan, mengamati secara visual permukaan hasil proses FSW. Hal-hal yang diamati adalah kekasaran permukaan, *flash* dan *exit hole*, karena fenomena-fenomena visual tersebut bisa menggambarkan kondisi

parameter FSW sebelumnya. Dan proses ini diakhiri dengan pengambilan gambar.

3.3.2. X-Ray

Pengamatan dengan mesin ini cukup mudah dan nyaris tanpa preparasi sample tetapi memerlukan biaya yang mahal. Yang diamati pada mesin ini adalah kondisi bagian dalam hasil pengelasan, apakah terlihat adanya keropos atau kebocoran tanpa merusak sample. Hal ini juga sangat berkaitan dengan parameter yang digunakan pada saat FSW dilakukan. Langkah-langkah yang dilakukan adalah :

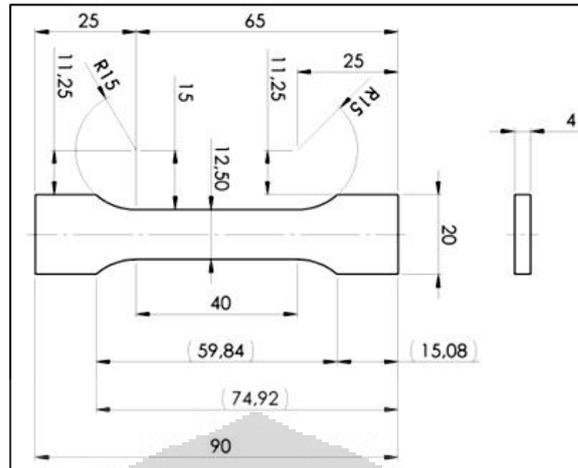
1. Panaskan mesin ± 1 jam.
2. Bersihkan permukaan sample.
3. Setelah mesin siap masukan sampel ke dalam mesin dan posisikan ditengah-tengah antara *x-ray source* dan *detector*.
4. Lakukan pengamatan.
5. Ambil gambar.
6. Lakukan pada semua sample, ulangi dari langkah 2.

3.4. *DESTRUCTIVE TEST (DT)*

Setelah melakukan pengujian yang bersifat tidak merusak, barulah dilakukan pengujian yang sifatnya merusak. Dan yang meliputi pengujian ini adalah Uji tarik, Kekerasan dan Makrostruktur.

3.4.1. Uji Tarik (*Tensile Strength Test*)

Sebelum melakukan tes ini yang harus dilakukan adalah membuat benda kerja yang ada menjadi specimen uji tarik. Karena pengujian ini harus dilakukan padaspesimen yang sesuai dengan standard. Standard yang digunakan adalah JIS 2201-1999.



Gambar 3.10 *Tensile Strength Test Specimen* [11]

Sample dibuat dengan menggunakan mesin CNC dengan system *pocketing* sehingga lebih seragam dan mempersingkat waktu pembuatan.

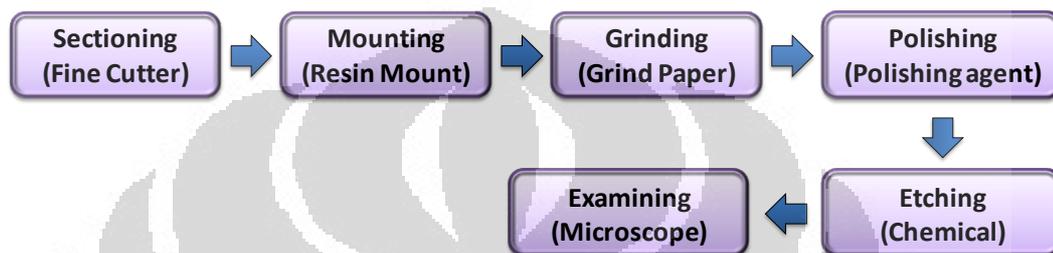
Setelah sample selesai dibuat maka langkah-langkah pengujian dimulai, yaitu adalah :

1. Beri identitas setiap sample yang sudah di buat dan dokumentasikan sebelum spesimen tersebut diuji.
2. Siapkan mesin, yang meliputi pencekam, *load cell* dan *ekstensometer*.
Sesuaikan dengan sample yang akan diuji serta kalibrasi mesin.
3. Masukkan parameter pengujian pada software, ini akan sangat menentukan hasil yang diperoleh. Ada pun parameter yang ditentukan adalah :
 - a. *Speed test*
 - b. *Gauge length* (untuk mengukur regangan)
 - c. Nilai yang ingin diperoleh yang meliputi *Tensile Strength* dan *Elongation* (regangan)
4. Input data dimensi semua spesimen yang akan dites, ini sebagai data luas penampang untuk menghitung *tensile strength*.
5. Setting spesimen pada pencekam dan pasang *ekstensometer*.
6. Lakukan pengujian pada semua sample yang akan diuji.
7. Data akan secara otomatis muncul pada layar dan bisa di-export kedalam bentuk file excel.

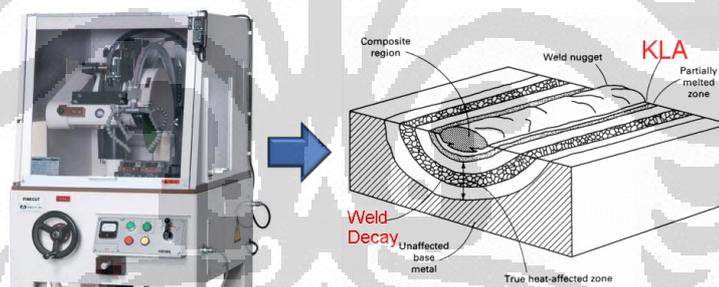
3.4.2. Metallographic Macroscopic Examination.

Hal ini bukan merupakan pengujian akan tetapi hanya berupa pengamatan visual makroskopik penampang material paska proses FSW. Tujuannya adalah untuk melihat secara langsung perilaku dan aliran material hasil proses FSW.

Tahapan dalam *metallographic macroscopic examination* adalah sebagai berikut :

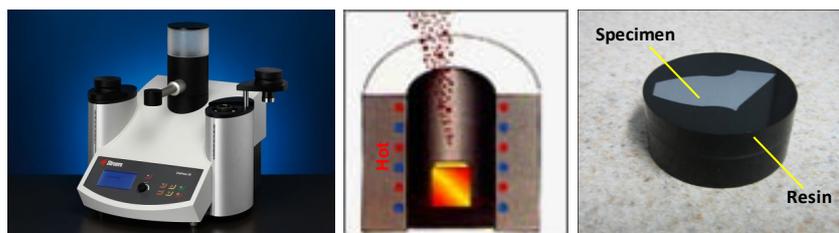


1. **Sectioning**, adalah langkah pertama dalam proses ini yaitu memotong sample yang akan kita amati pada lokasi yang diinginkan



Gambar 3.11 Sectioning Process

2. **Mounting**, adalah memberikan pegangan pada sample yang sudah terpotong agar lebih mudah dipegang pada saat di-grinding & di-polishing. Dilakukan dengan cara menggunakan *termoset resin* material.



Gambar 3.12 Hot Mounting Process

3. **Grinding & polishing**, adalah proses pengikisan material hingga mendapatkan *mirror finish* pada area yang akan diteliti.



Gambar 3.13 *Grinding & Polishing Process*

4. **Chemical Etching**, adalah proses pengkaratan material dengan sengaja sehingga matriks butiran material dapat terlihat jelas pada saat diteliti.
5. **Examining**, adalah proses pengamatan permukaan tadi dengan menggunakan *metallographic microscope*.



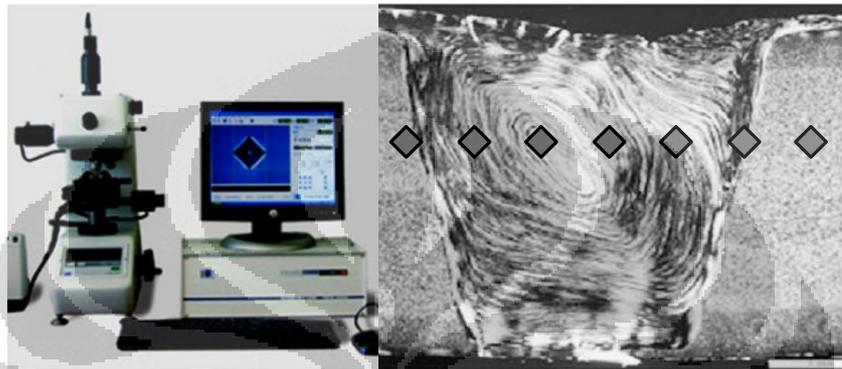
Gambar 3.14 *Macrostructir Examination*

3.4.3. Uji kekerasan (*Hardness test*)

Kekerasan material digunakan untuk melihat perbedaan karakter material di sekitar area *weld Zone*, hal ini dilakukan dengan menggunakan *Microvickers Hardness Tester*. Pengujian ini dilakukan di sepanjang *weld Zone* dan hasil dari pengujian ini biasanya dimuat dalam bentuk grafik.

Langkah-langkah yang dilakukan adalah :

1. *Sample preparation*, pada langkah ini hal yang dilakukan sama dengan pada saat pengujian *Metalographic Macroscopic Examination* bahkan bisa menggunakan sample yang sama.
2. Kalibrasi mesin dengan menggunakan *standard block hardness*.
3. Lakukan pengujian kekerasan di sepanjang *weld affected zone* nya.



Gambar 3.15 *Hardness Test Method*

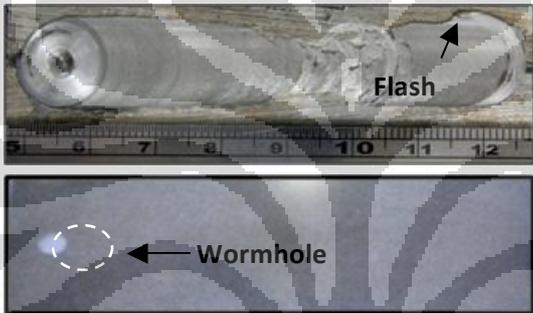
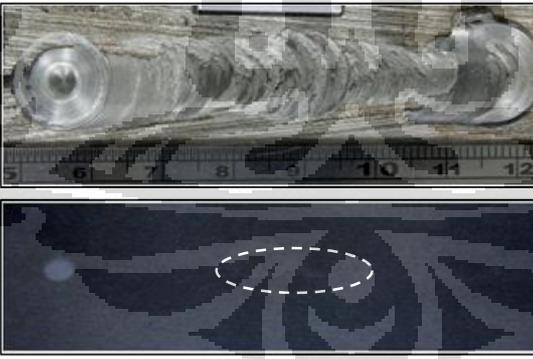
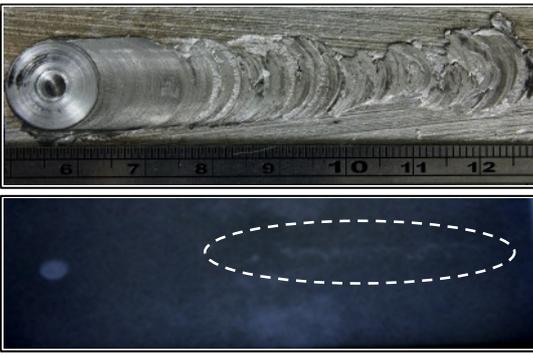
BAB 4

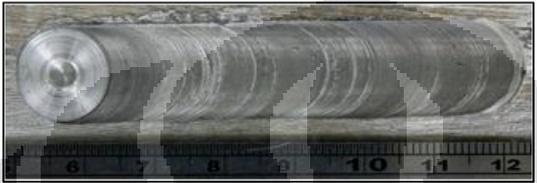
HASIL & ANALISIS DATA

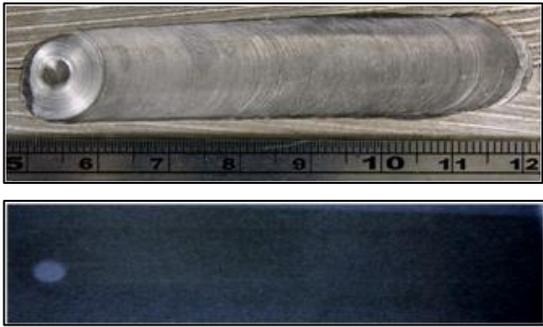
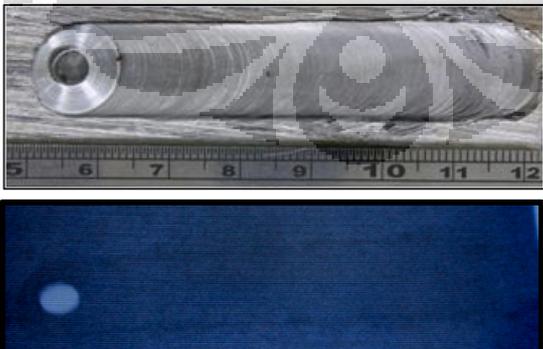
4.1. NON DESTRUCTIVE TEST (NDT)

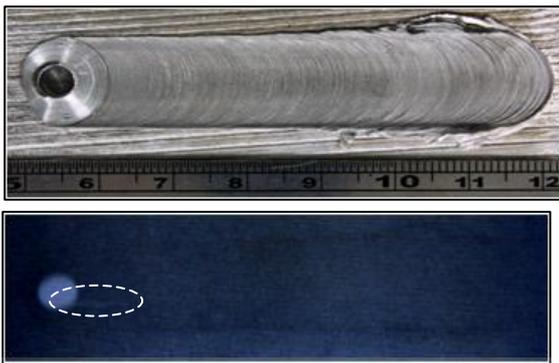
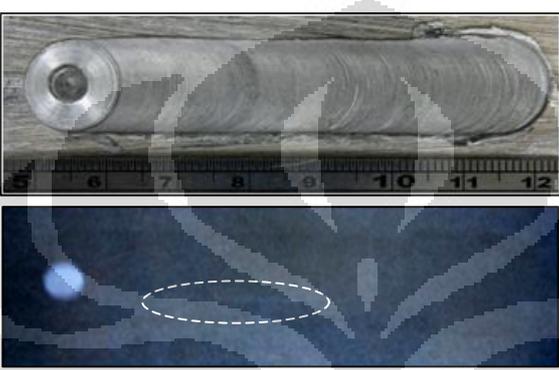
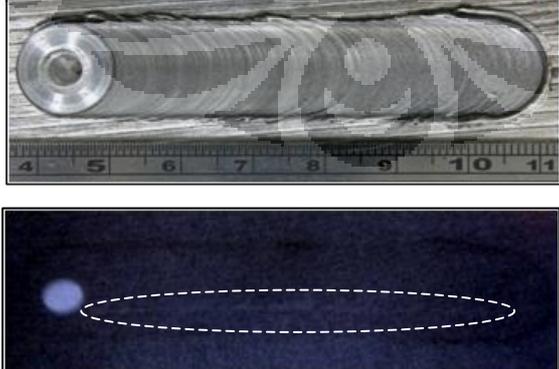
Hal yang pertama dilakukan adalah melakukan pengujian atau pengamatan data dengan cara yang tidak merusak, hal ini dilakukan dengan melakukan analisis visual dan pengamatan X-Ray berikut hasil yang didapat :

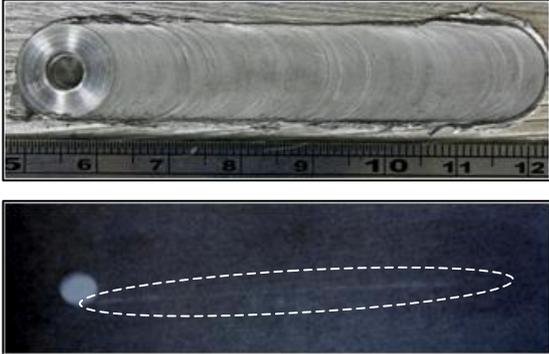
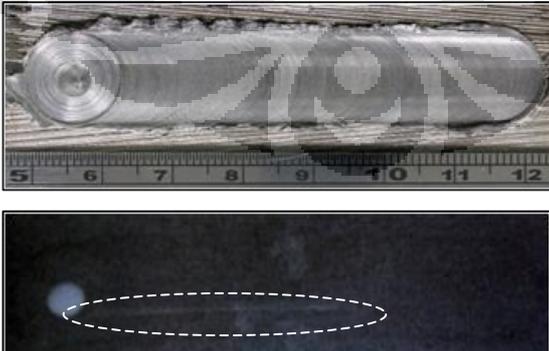
Tabel 4.1 *Visual Examination & X-Ray*

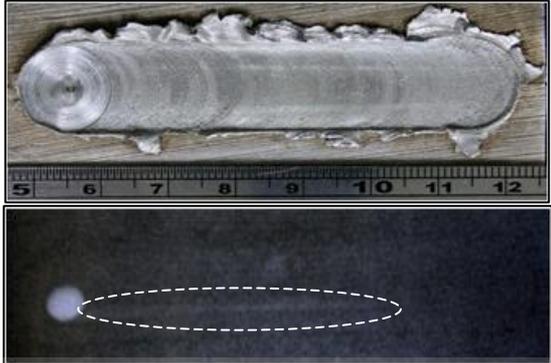
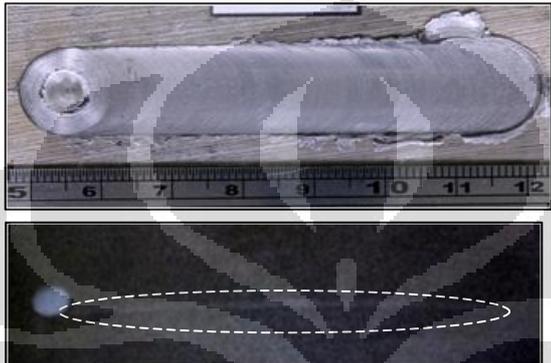
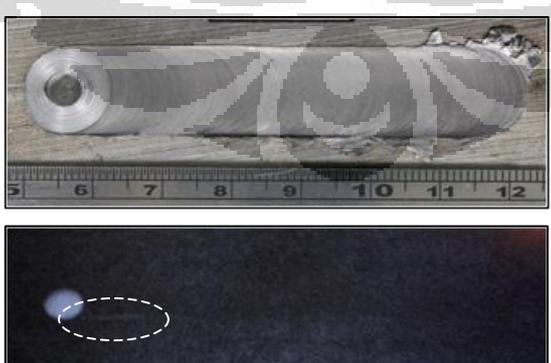
Sample no	Pengamatan visual & X-Ray	Parameter	Ket
1		Bentuk Probe Tirus kemiringan 0° 1000 rpm <i>feed rate</i> 11,5 mm\min	Kasar, Flash Wormhole
2		Bentuk Probe Tirus kemiringan 0° 1100 rpm <i>feed rate</i> 11,5 mm\min	Kasar Flash Wormhole
3		Bentuk Probe Tirus kemiringan 0° 1200 rpm <i>feed rate</i> 11,5 mm\min	Kasar Flash Wormhole

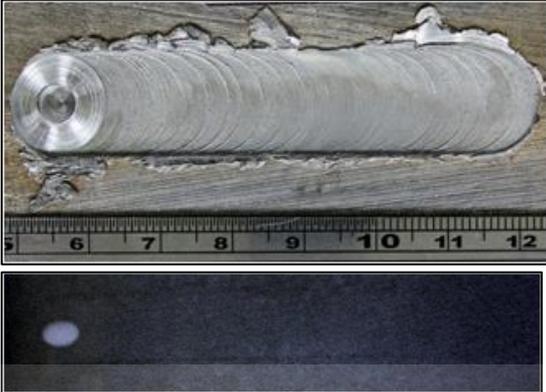
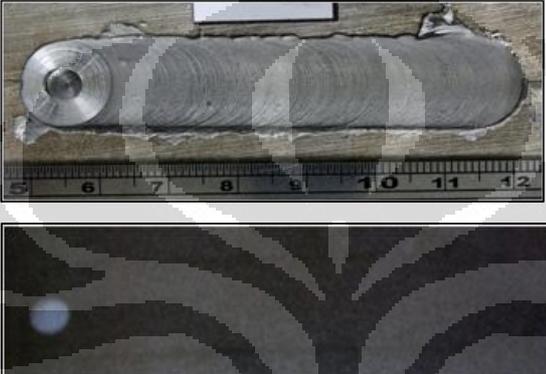
4	 	Bentuk <i>Probe</i> Tirus kemiringan 1° 1000 rpm <i>feed rate</i> 11,5 mm\min	Halus <i>Flash</i>
5	 	Bentuk <i>Probe</i> Tirus kemiringan 1° 1100 rpm <i>feed rate</i> 11,5 mm\min	Halus <i>Flash</i> Porosity material
6	 	Bentuk <i>Probe</i> Tirus kemiringan 1° 1200 rpm <i>feed rate</i> 11,5 mm\min	Halus <i>Flash</i>
7	 	Bentuk <i>Probe</i> Tirus kemiringan 2° 1000 rpm <i>feed rate</i> 11,5 mm\min	Halus

<p style="text-align: center;">8</p>		<p>Bentuk <i>Probe</i> Tirus kemiringan 2° 1100 rpm <i>feed rate</i> 11,5 mm\min</p>	<p>Halus</p>
<p style="text-align: center;">9</p>		<p>Bentuk <i>Probe</i> Tirus kemiringan 2° 1200 rpm <i>feed rate</i> 11,5 mm\min</p>	<p>Halus <i>Flash</i></p>
<p style="text-align: center;">10</p>		<p>Bentuk <i>Probe</i> Lurus kemiringan 1° 1000 rpm <i>feed rate</i> 11,5 mm\min</p>	<p>Halus <i>Flash</i></p>
<p style="text-align: center;">11</p>		<p>Bentuk <i>Probe</i> Lurus kemiringan 1° 1100 rpm <i>feed rate</i> 11,5 mm\min</p>	<p>Halus <i>Flash</i></p>

<p>12</p>		<p>Bentuk <i>Probe</i> Lurus kemiringan 1° 1200 rpm <i>feed rate</i> 11,5 mm\min</p>	<p>Halus <i>Flash</i> <i>Wormhole</i></p>
<p>13</p>		<p>Bentuk <i>Probe</i> Lurus kemiringan 2° 1000 rpm <i>feed rate</i> 11,5 mm\min</p>	<p>Halus <i>Flash</i> <i>Wormhole</i></p>
<p>14</p>		<p>Bentuk <i>Probe</i> Lurus kemiringan 2° 1100 rpm <i>feed rate</i> 11,5 mm\min</p>	<p>Halus <i>Flash</i></p>
<p>15</p>		<p>Bentuk <i>Probe</i> Lurus kemiringan 2° 1200 rpm <i>feed rate</i> 11,5 mm\min</p>	<p>Halus <i>Flash</i> <i>Wormhole</i></p>

<p>16</p>		<p>Bentuk <i>Probe</i> Lurus kemiringan 3° 1000 rpm <i>feed rate</i> 11,5 mm\min</p>	<p>Halus <i>Flash</i> <i>Wormhole</i></p>
<p>17</p>		<p>Bentuk <i>Probe</i> Lurus kemiringan 3° 1100 rpm <i>feed rate</i> 11,5 mm\min</p>	<p>Halus <i>Flash</i> <i>Wormhole</i></p>
<p>18</p>		<p>Bentuk <i>Probe</i> Lurus kemiringan 3° 1200 rpm <i>feed rate</i> 11,5 mm\min</p>	<p>Halus <i>Flash</i> <i>Wormhole</i></p>
<p>19</p>		<p>Bentuk <i>Probe</i> <i>Ballnose</i> kemiringan 1° 1000 rpm <i>feed rate</i> 11,5 mm\min</p>	<p>Halus <i>Flash</i> <i>Wormhole</i></p>

<p style="text-align: center;">20</p>		<p>Bentuk Probe Ballnose kemiringan 1° 1100 rpm feed rate 11,5 mm\min</p>	<p>Halus Flash Wormhole</p>
<p style="text-align: center;">21</p>		<p>Bentuk Probe Ballnose kemiringan 1° 1200 rpm feed rate 11,5 mm\min</p>	<p>Halus Flash Wormhole</p>
<p style="text-align: center;">22</p>		<p>Bentuk Probe Ballnose kemiringan 2° 1000 rpm feed rate 11,5 mm\min</p>	<p>Halus Flash Wormhole</p>
<p style="text-align: center;">23</p>		<p>Bentuk Probe Ballnose kemiringan 2° 1100 rpm feed rate 11,5 mm\min</p>	<p>Halus Flash Wormhole</p>

<p>24</p>		<p>Bentuk Probe Ballnose kemiringan 2° 1200 rpm feed rate 11,5 mm\min</p>	<p>Halus Flash</p>
<p>25</p>		<p>Bentuk Probe Ballnose kemiringan 3° 1000 rpm feed rate 11,5 mm\min</p>	<p>Halus Flash</p>
<p>26</p>		<p>Bentuk Probe Ballnose kemiringan 3° 1100 rpm feed rate 11,5 mm\min</p>	<p>Halus Flash</p>
<p>27</p>		<p>Bentuk Probe Ballnose kemiringan 3° 1200 rpm feed rate 11,5 mm\min</p>	<p>Halus Flash</p>

Tabel diatas bila dalam bentuk matriks dapat ditunjukkan seperti tabel di bawah ini :

Tabel 4.2 Matrix *Visual Examination & X-Ray*

No	Tool Shape	Tool Tilt	Rpm	Surface		Flash		Wormhole	
				Halus	Kasar	Ya	Tidak	Ya	Tidak
1	Tirus	0°	1000		○	○		○	
2			1100		○	○		○	
3			1200		○	○		○	
4		1°	1000	○		○			○
5			1100	○		○			○
6			1200	○		○			○
7		2°	1000	○			○		○
8			1100	○			○		○
9			1200	○		○			○
10	Lurus	1°	1000	○		○			○
11			1100	○		○			○
12			1200	○		○		○	
13		2°	1000	○		○		○	
14			1100	○		○			○
15			1200	○		○		○	
16		3	1000	○		○		○	
17			1100	○		○		○	
18			1200	○		○		○	
19	Ballnose	1°	1000	○		○		○	
20			1100	○		○		○	
21			1200	○		○		○	
22		2°	1000	○		○		○	
23			1100	○		○		○	
24			1200	○		○			○
25		3	1000	○		○			○
26			1100	○		○			○
27			1200	○		○			○

Dari matriks di atas terlihat bahwa yang berpengaruh terhadap kualitas visual hasil FSW hanya sudutnya saja. Permukaan yang dihasilkan dengan sudut FSW 0° akan menghasilkan permukaan yang kasar. Sedangkan untuk *flashing* dan

wormhole (kropos) kecenderungannya belum dapat terlihat dengan percobaan ini, diperlukan percobaan lebih lanjut untuk melihat kecenderungan dari parameter-parameter yang digunakan.

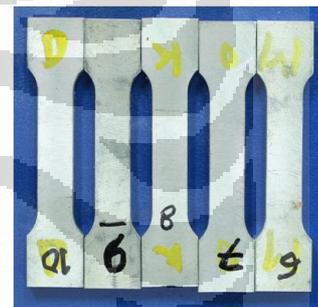
4.2. DESTRUCTIVE TEST (DT)

Tahap selanjutnya yang dilakukan adalah pengujian yang sifatnya merusak. Ada tiga hal yang dilakukan pada tahapan ini yaitu uji tarik, kekerasan dan makrostruktur.

4.2.1. Uji Tarik (*Tensile Strength Test*)

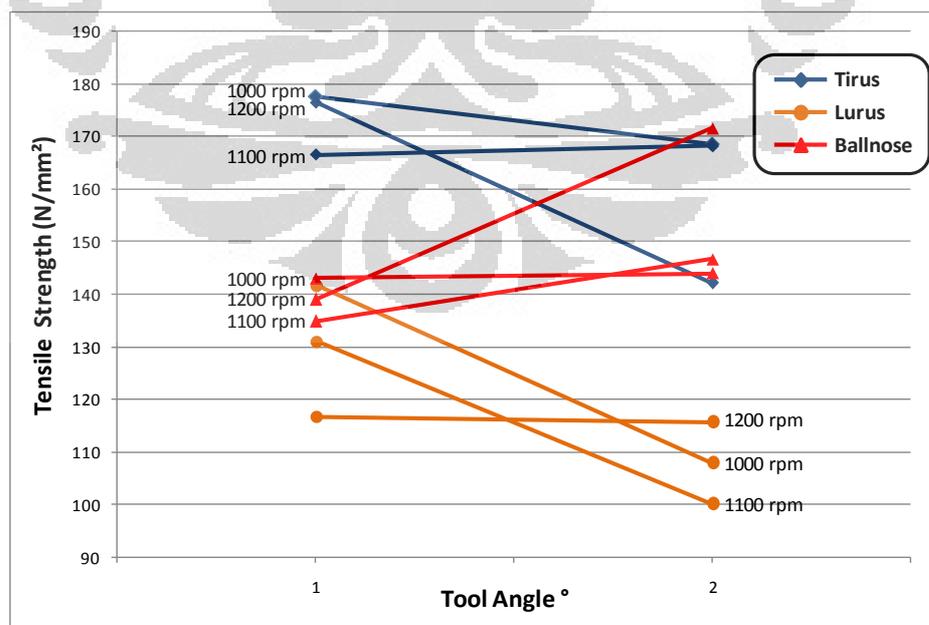
Pengujian dilakukan dengan menggunakan spesimen sesuai dengan JIS 2201 yang dibuat dari benda kerja FSW dengan mesin CNC, lalu pengujian dilakukan dengan menggunakan *Universile Testing Machine* dengan parameter sebagai berikut :

- *Load Cell* : 100 kN
- *Testing Speed* : 5 mm/min
- *Gaguge length*: 50 mm

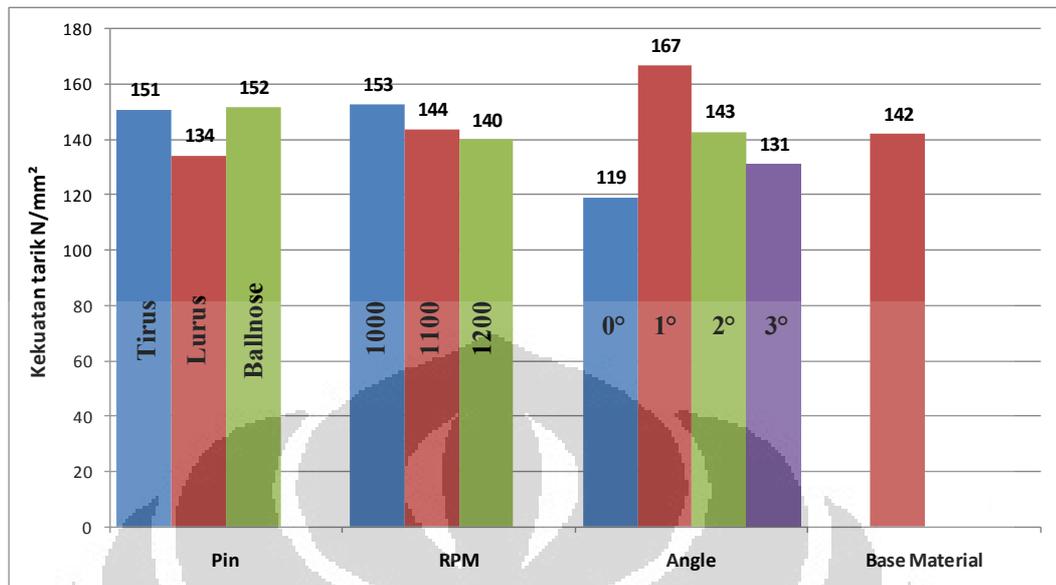


dan berikut grafik data yang diperoleh :

Gambar 4.1 Spesimen Uji Tarik [11]



Gambar 4.2 Grafik hasil Uji Tarik



Gambar 4.3 Grafik hasil Uji Tarik rata-rata

Dari dari dua grafik diatas terlihat pengaruh parameter FSW terhadap kekuatan tarik. Dapat disimpulkan bahwa :

1. *Probe* bentuk lurus memiliki kecenderungan untuk menghasilkan kekuatan lebih rendah dibandingkan 2 bentuk lainnya
2. Dengan *feeding* tetap semakin tinggi rpm, kekuatannya semakin menurun
3. Semakin besar sudut tool semakin rendah kekuatannya.
4. Tetapi pada sudut 0° kualitas pengelasan kurang baik, sehingga nilai kekuatannya pun menurun (diabaikan).

Kesimpulan di atas merupakan kesimpulan awal saja, dibutuhkan percobaan lebih lanjut untuk memperkuat kesimpulan-kesimpulan diatas

Tabel 4.3. Matrix Hasil Uji Tarik

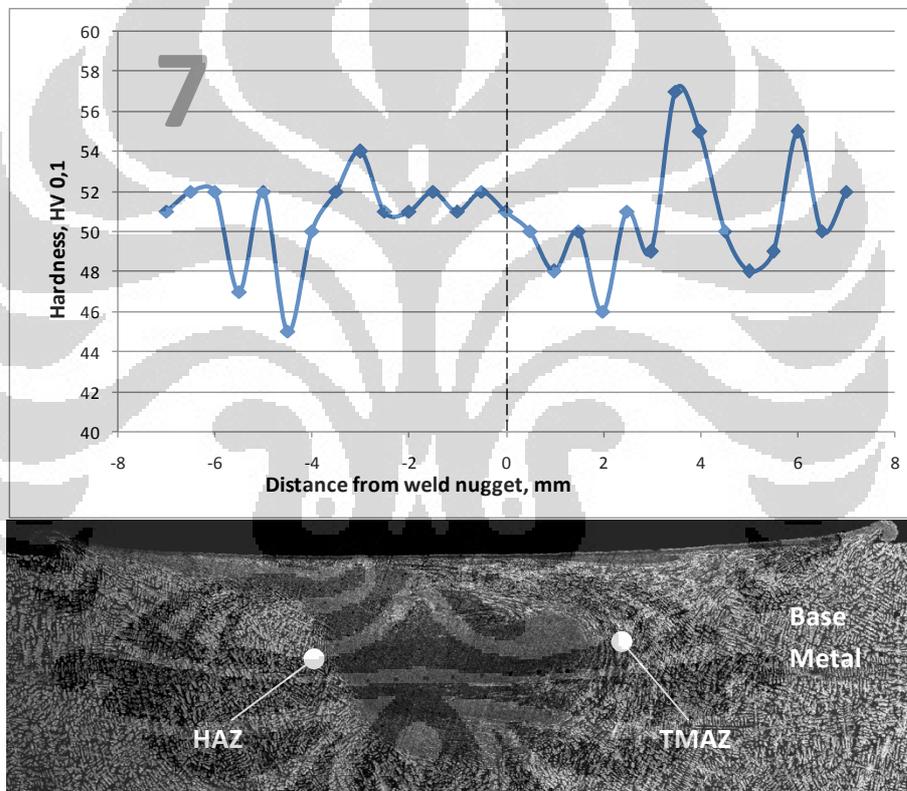
No	Tool Shape	Tool Tilt	Rpm	Tensile Strength	Fracture Location
1	Tirus	0°	1000	171,884	weld nugget
2			1100	128,227	weld nugget
3			1200	57,2309	weld nugget
4		1°	1000	177,538	weld nugget
5			1100	166,593	weld nugget
6			1200	176,54	weld nugget
7		2°	1000	168,498	weld nugget
8			1100	168,218	weld nugget
9			1200	142,142	weld nugget
10	Lurus	1°	1000	140,009	Base metal
11			1100	172,784	weld nugget
12			1200	181,682	weld nugget
13		2°	1000	141,802	Base metal
14			1100	131,161	Base metal
15			1200	116,803	weld nugget
16		3	1000	107,932	weld nugget
17			1100	100,084	weld nugget
18			1200	115,727	weld nugget
19	Ballnose	1°	1000	181,158	weld nugget
20			1100	145,978	Base metal
21			1200	158,59	weld nugget
22		2°	1000	143,016	Base metal
23			1100	134,855	Base metal
24			1200	139,017	Base metal
25		3	1000	144,019	Base metal
26			1100	146,687	weld nugget
27			1200	171,608	weld nugget

4.2.2. Hardness Test & Macrostructure

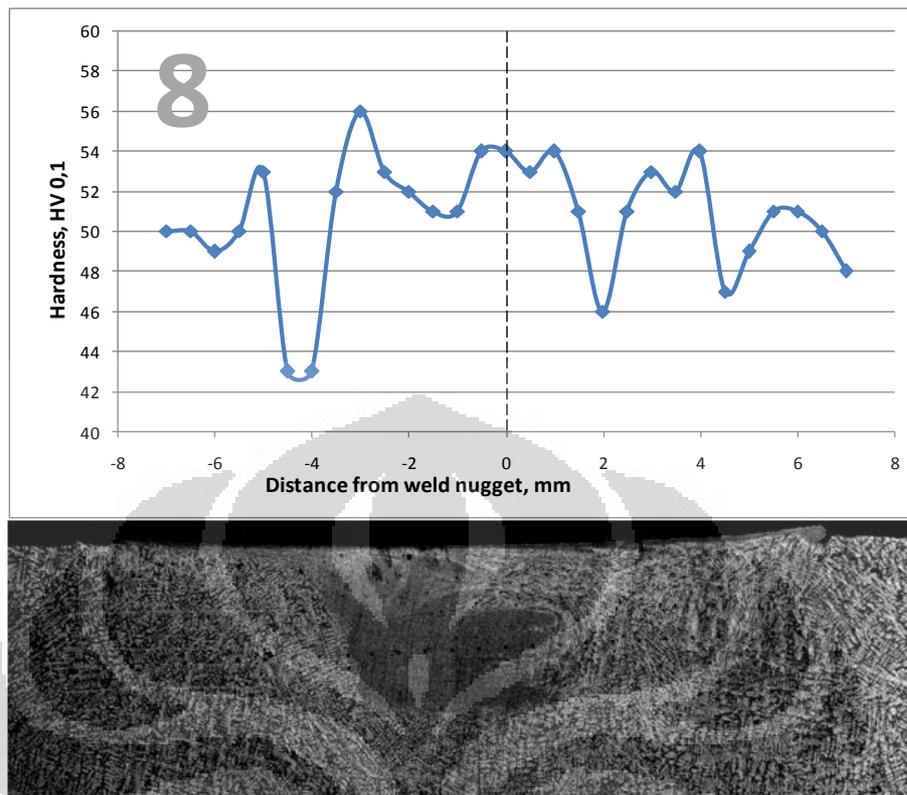
Pengujian kekerasan dilakukan di sepanjang *weldzone* (HAZ, TMAZ *Nugget*) dengan menggunakan *microvickers hardness tester* dengan beban 100 gr. Lokasi pengujian berada 2 mm di bawah permukaan pengelasan dengan interval 0,5 mm.

Tabel 4.4 Parameter sampel *hardness* & makrostruktur

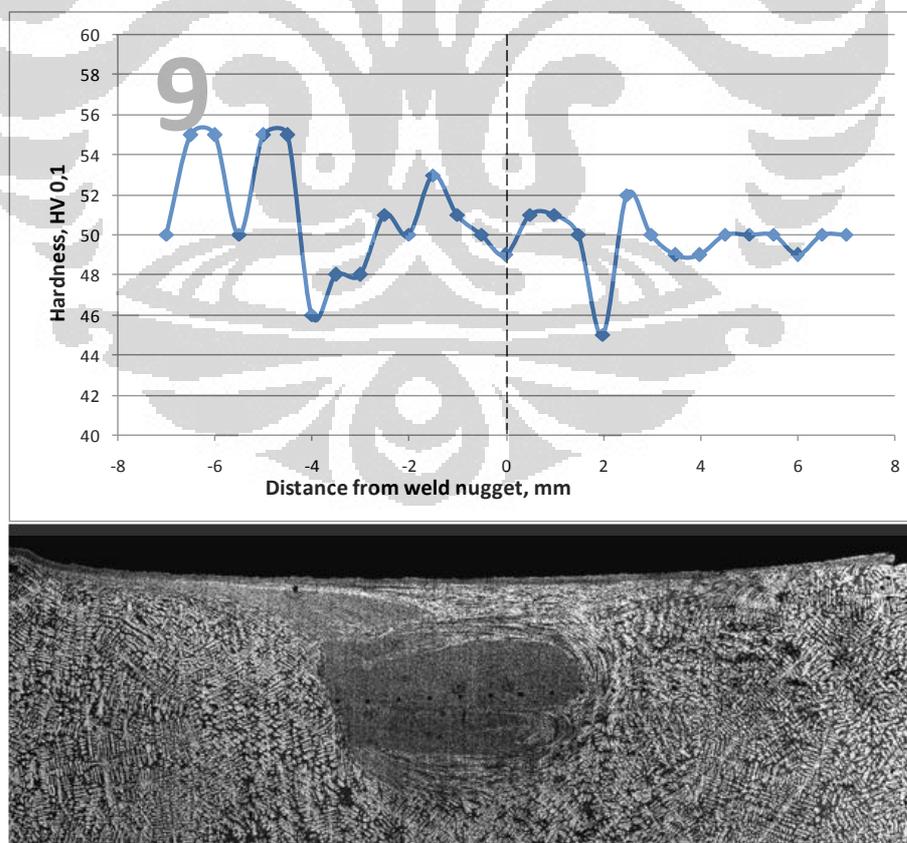
No	Tool Shape	Tool Tilt	Rpm	Surface		Flash		Wormhole	
				Halus	Kasar	Ya	Tidak	Ya	Tidak
7	Tirus	2°	1000	0			0		0
8			1100	0			0		0
9			1200	0		0			0
13	Lurus	2°	1000	0		0		0	
14			1100	0		0		0	
15			1200	0		0		0	
22	Ballnose	2°	1000	0		0		0	
23			1100	0		0		0	
24			1200	0		0		0	



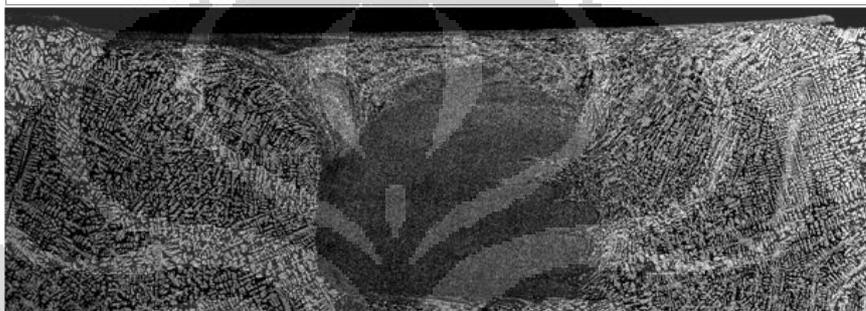
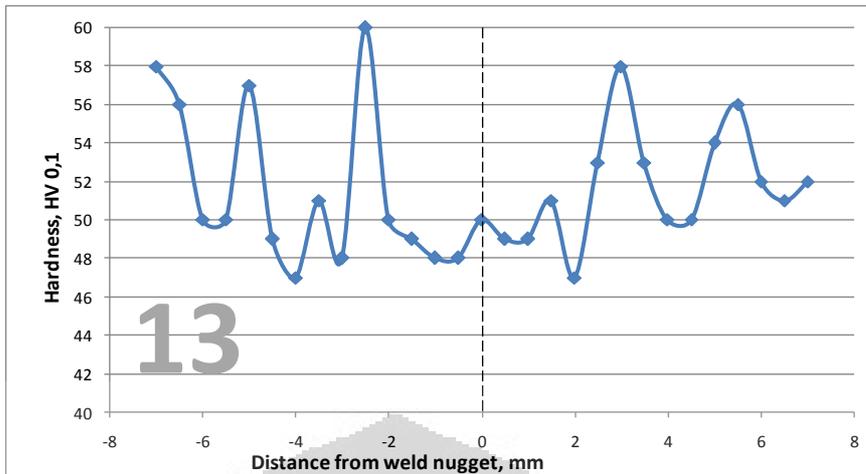
Gambar 4.4 *Hardness* & makrostruktur sampel no 7



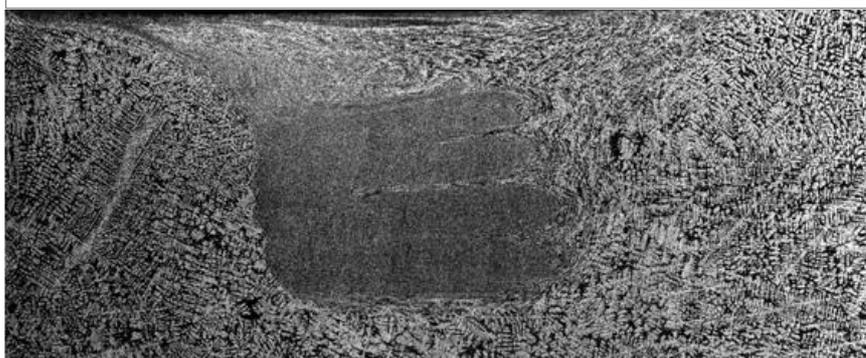
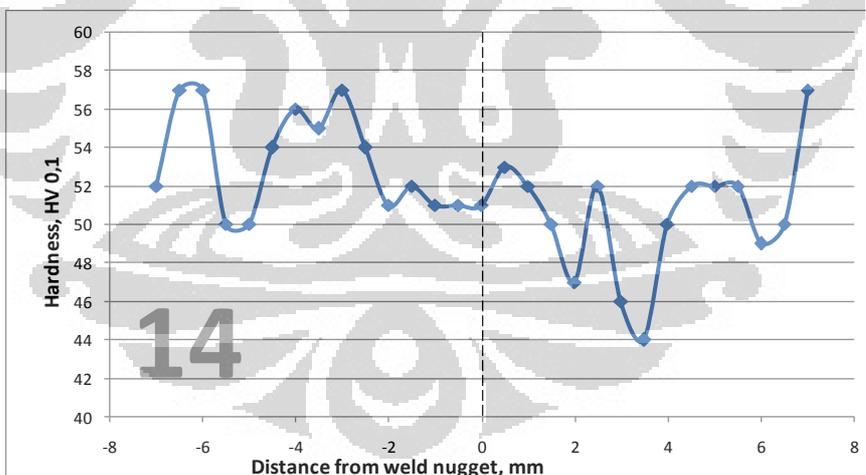
Gambar 4.5 Hardness & makrostruktur sampel no 8



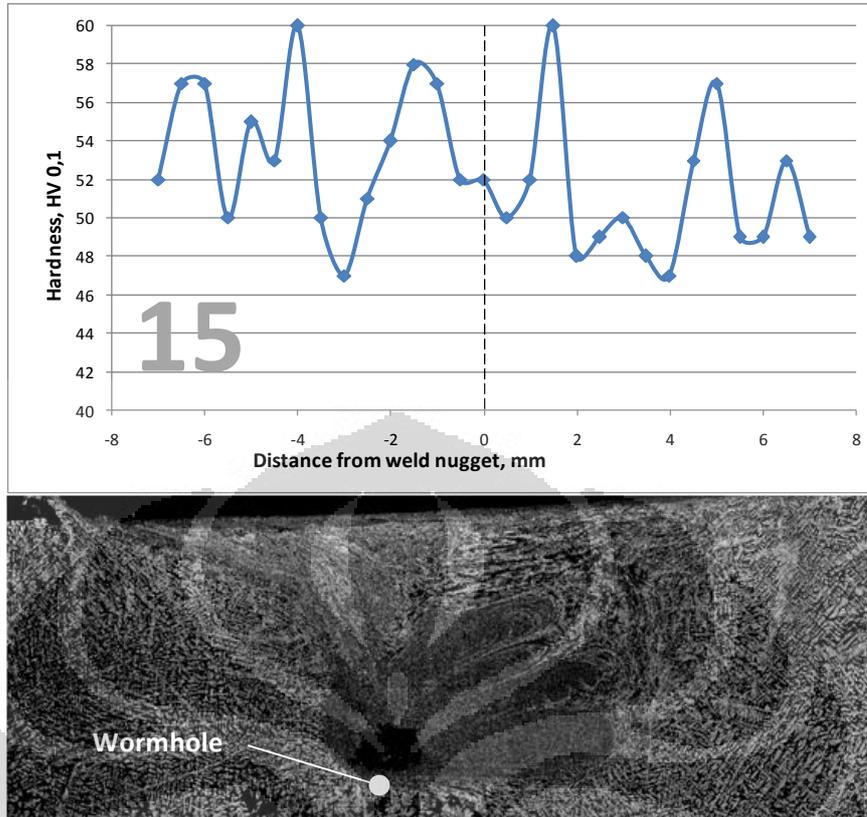
Gambar 4.6 Hardness & makrostruktur sampel no 9



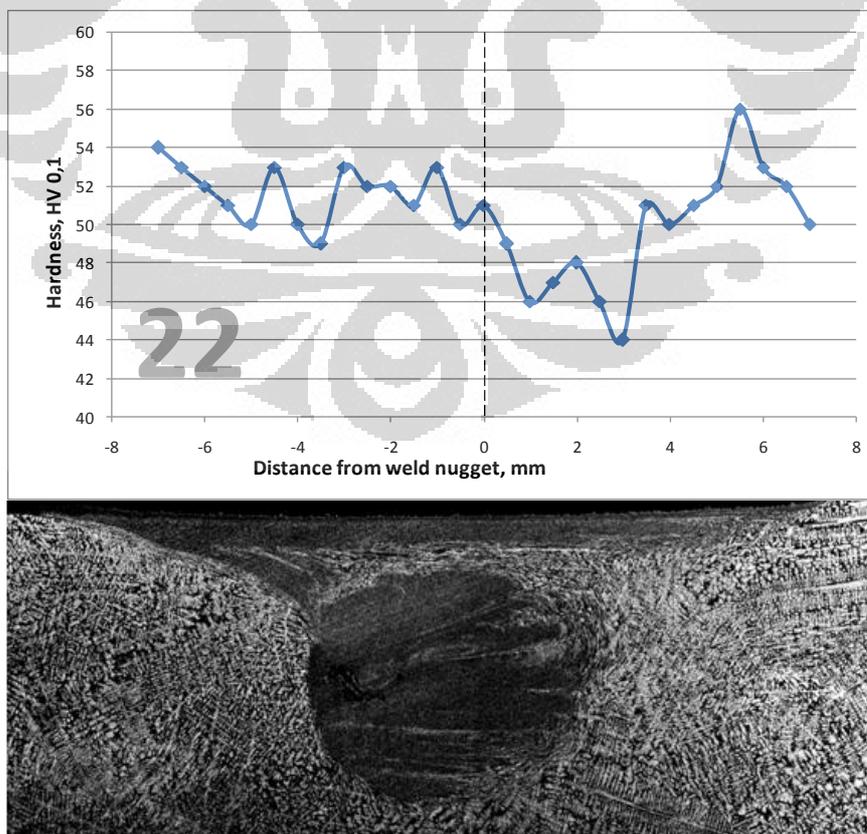
Gambar 4.7 Hardness & makrostruktur sampel no 13



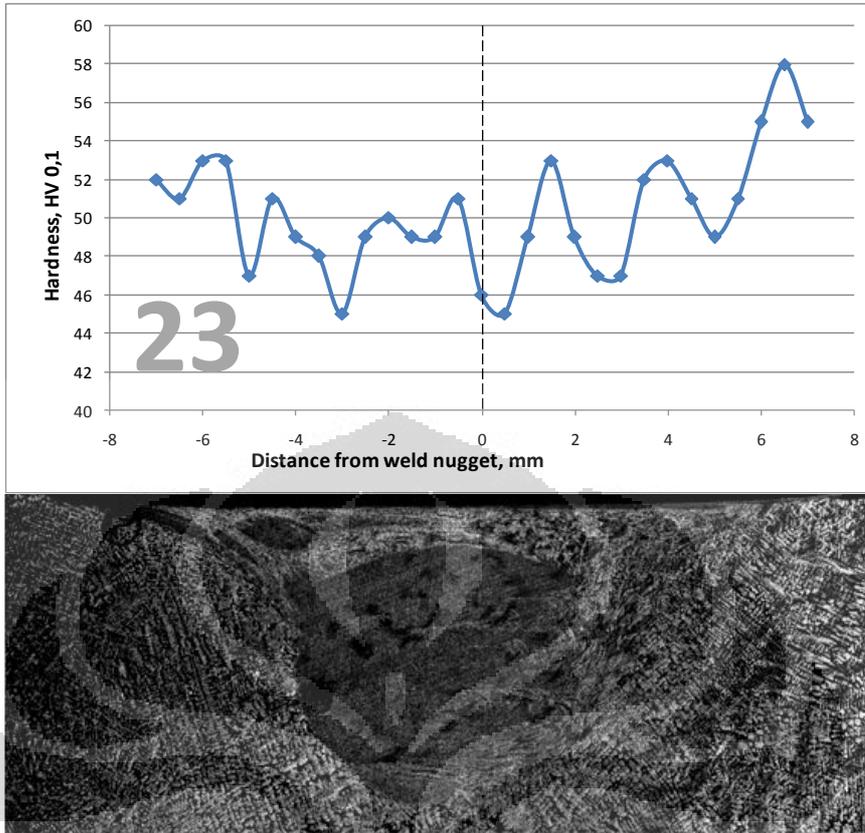
Gambar 4.8 Hardness & makrostruktur sampel no 14



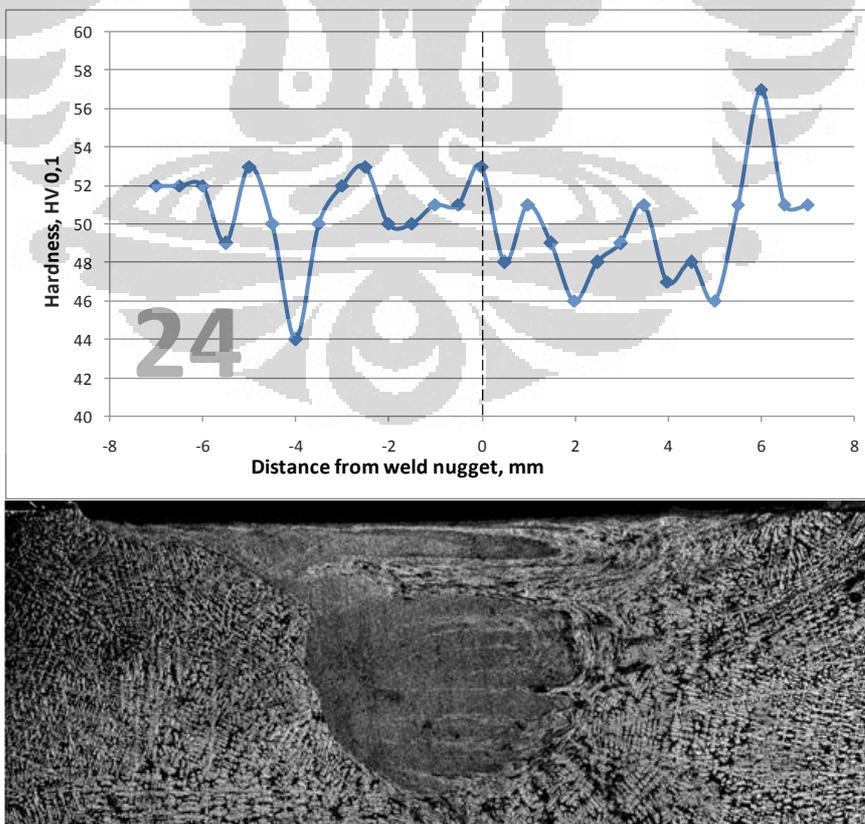
Gambar 4.9 Hardness & makrostruktur sampel no 15



Gambar 4.10 Hardness & makrostruktur sampel no 22



Gambar 4.11 Hardness & makrostruktur sampel no 23

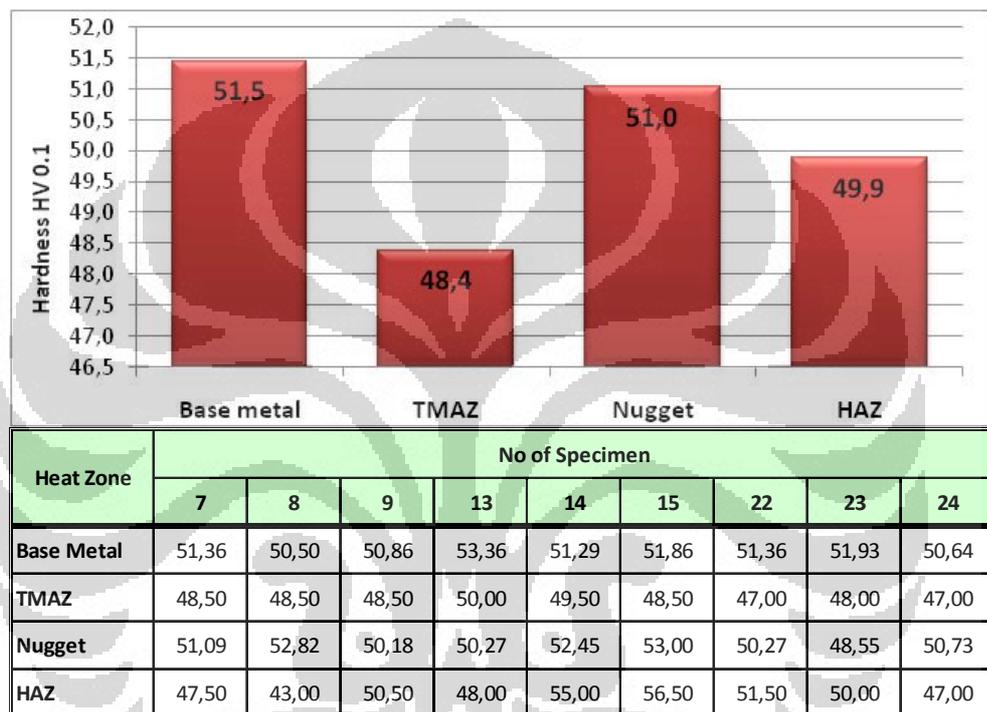


Gambar 4.12 Hardness & makrostruktur sampel no 24

Spesimen-spesimen di atas digunakan dengan asumsi bahwa kemiringan *tool* tidak mempengaruhi panas yang dihasilkan pada area FSW sehingga tidak akan mempengaruhi profil kekerasan pada *weld zone*.

Hasil pengamatan makrostruktur menunjukkan bahwa pada area pengelasan sudah dapat dibedakan antara HAZ, TMAZ dan tentunya *Weld Nugget*.

Tabel 4.4 Matrix dan grafik rata-rata kekerasan masing-masing *Heat Zone*



Bila dihubungkan dengan hasil pengujian kekerasannya terlihat bahwa kekerasan pada area HAZ dan TMAZ lebih rendah dibandingkan dengan area lain walaupun angkanya tidak terlalu signifikan dan masih sedikit acak. Hal ini pun kemungkinan bisa terjadi karena material yang digunakan tidak mengalami *heat treatment* sehingga *microstructure* yang terbentuk belum sempurna dan sangat mempengaruhi hasil pengujian kekerasan, terutama apabila pengujian dilakukan dengan *micro Hardness*.

Diperlukan analisis lebih lanjut dan data yang lebih maksimal untuk melihat kecenderungan pengaruh parameter FSW terhadap profil kekerasan pada *weld zone* FSW.

Tabel 4.5 Matrix pengaruh perubahan parameter FSW.

		Permukaan las	X-Ray	Kekuatan Tarik	Hardness	Macro structure
Bentuk Tool	Tirus	Tidak berpengaruh pada permukaan dan kualitas bagian dalam hasil pengelasan		TMAZ pada pin lurus lebih besar, kekuatan tarik menurun		TMAZ yang terbentuk pada pin lurus lebih besar
	Lurus					
	Ballnose					
Sudut kemiringan Tool	0	Permukaan yang dihasilkan kasar	Menghasilkan wormhole di bagian dalam	Worm hole menyebabkan kekuatan pengelasan menurun	Angka kekerasan berbeda pada setiap <i>Weldzone</i> Parameter kekeasaan tidak berpengaruh pada kekerasan setiap zone.	Tidak ada perbedaan signifikan diantara parameter yang berbeda
	1	- Permukaan yang dihasilkan baik - Menimbulkan Flashing material	Sudut kemiringan tool tidak berpengaruh secara langsung pada kualitas bagian dalam pengelasan	Semakin besar sudut tool semakin rendah kekuatan tariknya		
	2					
	3					
Putaran Tool	1000	Harus disesuaikan dengan kecepatan las (feeding) untuk mendapatkan hasil optimal dan menurunkan tingkat <i>wormhole</i> .		Dengan feeding tetap semakin tinggi rpm, kekuatan pengelasan semakin menurun		
	1100					
	1200					

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN PENELITIAN

LEBIH LANJUT

5.1. KESIMPULAN

- Dengan menggunakan sistem yang ditentukan , *Friction Stir Welding* sudah berhasil dilakukan dan menghasilkan suatu sambungan.
- Hasil pengamatan visual dan X-Ray masih menunjukkan data yang acak, karakter proses masih belum bisa dilihat terkecuali satu hal, yaitu parameter kemiringan sudut tool 0° menghasilkan permukaan dan kualitas bagian dalam yang kurang baik.
- Kesimpulan awal dari hasil uji tarik adalah sebagai berikut :
 1. *Probe* bentuk lurus memiliki kecenderungan untuk menghasilkan kekuatan lebih rendah dibandingkan 2 bentuk lainnya
 2. Dengan *feeding* tetap semakin tinggi rpm, kekuatannya semakin menurun
 3. Semakin besar sudut tool semakin rendah kekuatannya.
 4. Tetapi pada sudut 0° kualitas pengelasan kurang baik, sehingga nilai kekuatannya pun menurun (diabaikan).
- Angka kekerasan berbeda pada setiap *weldzone*, parameter kekeasaan tidak berpengaruh pada kekerasan setiap *zone*.
- Hasil pengamatan penampang potong daerah pengelasan menunjukkan bahwa :
 1. TMAZ yang terbentuk pada *probe* lurus lebih besar
 2. Tidak ada perbedaan signifikan diantara parameter sudut dan rpm yang berbeda

5.2. SARAN

- Perlu dilakukan penelitian yang lebih lanjut untuk memperkuat hasil-hasil analisa diatas dengan variasi parameter yang lebih banyak.
- Penggunaan *load cell* untuk mengukur beban yang terjadi pada proses akan memperkuat analisis dari hasil *Friction Stir Welding*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Thomas, WM; Nicholas, ED; Needham, JC; Murch, MG; Temple-Smith, P; Dawes, CJ, 1991, *Friction-stir butt welding*, GB Patent No. 9125978.8, International patent application No. PCT/GB92/02203
- [2] ASM International, 2007, *Friction Stir Welding And Processing*, American Society of Material, Ohio.
- [3] Khaled, Terry, 2005, *An Outsider Looks At Friction Stir Welding*, Federal Aviation Administration, Lakewood, California.
- [4] Rowe, C E D; Thomas, Wayne, 2006, *advances in tooling materials for friction stir welding*, TWI & Cedar Metal, Cambridge.
- [5] Frigaard, O; Grong, O; Midling, O T ,2001 . *A Process Model For Friction-Stir Welding Of Age Hardening Aluminium Alloys*. Metallurgical and Material Transactions 32A
- [6] I. J. Polmear, 1995, *Light Alloys*, Arnold
- [7] Arifin, Bustanul; Suharno, Bambang; Harjanto, Sri, *Karakter Alumunium Casting*, Departemen Teknik Metalurgi, Universitas Indonesia, Depok.
- [8] www.gwp-ag.com (25 May 2011)
- [9] www.directindustry.com (25 May 2011)
- [9] <http://enpub.fulton.asu.edu/cement/control3.html> (23 May 2011)
- [10] www.matweb.com (18 May 2011)
- [11] JIS (Japan Industrial Standard)