

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

**Angger Sudrajat F. P., Septian Reza S. P., Moh. Indra P.,
Sinung Trah U., Intan Maimuna,
Sumarji, Mahros Darsin**

Universitas Jember

Jl Kalimantan No. 37 - Kampus Tegalboto, Jember - 68121

Phone/Fax : 0331. 330 224 / 339 029

Email: anggersudrajat@ymail.com

Abstrak

Aluminum and aluminum alloys have properties that are less well when compared to steel, such as specific heat and has a high conductivity. They are also easily oxidized and form an aluminum oxide Al_2O_3 which have a high melting point. Consequently, when they are welded the fusion between base and weld metal will be blocked. Moreover, if the cooling process is too fast it will form a smooth cavity ex-pouch of hydrogen. Friction stir welding (FSW) is a challenging alternative for joining aluminum alloy. In FSW, process occur in the solid state (solid state joining). In this research, some attempts were carried out to find the best quality of welding, in term of mechanical properties and microstructure. Tool rotation speed was varied at 780, 980, 1120 rpm. Whereas, feed rate used was keep constantly at 15 mm/min. The material to be welded is a- 4.0 mm thick aluminum AA 1100 strips. Result showed that the highest strength obtained is 56.528 MPa at 1120 rpm and the lowest strength obtained is 38.472 MPa at 980 rpm. Wormholes and the lack of penetration defects are the main things that reduce the tensile strength. From micro observations known on the grains shape of the stir zone, $FeAl_3$ particles is spread more evenly in matrix of Al due to the stir process during the welding process. Hardness tests showed that the weld metal is softer than the base metal.

Keywords: *aluminum , welding, FSW*

1. Pendahuluan

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, dan lain-lain 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 [1]. 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 [2]. Prinsip kerja FSW adalah memanfaatkan gesekan dari benda kerja yang berputar dengan benda kerja lain yang diam, sumber panas diasumsikan murni akibat gesekan antara *tool* dan permukaan benda kerja. sehingga mampu melelehkan benda kerja yang diam tersebut dan akhirnya tersambung menjadi satu [3]. 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* [4].

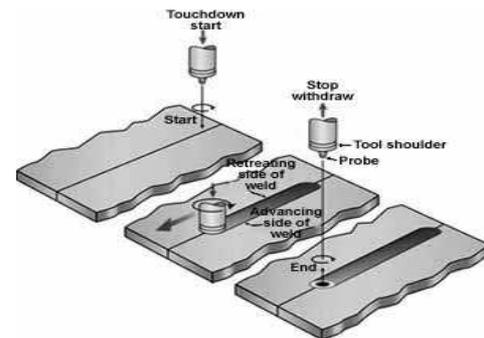
2. Tinjauan Pustaka

2.1 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 disentuhkan 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.

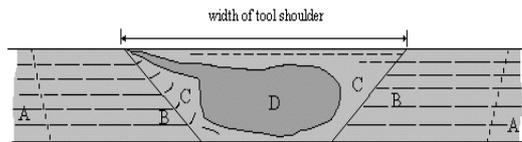
Prinsip *friction stir welding* yang ditunjukkan pada Gambar 1, dengan gesekan dua benda yang terus-menerus akan menghasilkan panas, ini menjadi suatu prinsip dasar terciptanya suatu proses pengelasan gesek. Pada proses *friction stir welding*, sebuah *tool* yang berputar ditekankan pada material yang 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.



Gambar 1. Prinsip *friction stir welding*

Struktur mikro 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*) (ASM. 2007). Bagian adukan (*stir zone*) mengalami laju tegangan dan regangan tertinggi serta temperatur yang tinggi. Kombinasi ini menyebabkan bagian ini terjadi rekristalisasi dinamik. Struktur mikro 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.



Gambar 2. Strukturmikro hasil pengelasan dengan metode *friction stir welding*, A. logam induk. B. HAZ, C. TMAZ, D. *stir zone* (*weld nugget*)

2.2 Aluminium

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

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

- Karena panas jenis dan daya hantar panasnya tinggi maka sulit untuk memanaskan dan mencairkan sebagian kecil.
- Aluminium mempunyai titik cair dan viskositas yang rendah, maka daerah yang terkena pemanasan mudah mencair dan menetes.
- 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.

- 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.
- 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.

Unsur – Unsur Paduan Logam Aluminium

- a. Besi (Fe) : Penambahan unsur besi pada aluminium dapat mengurangi terjadinya keretakan panas.
- b. Manganase (Mn) : Aluminium yang ditambah 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.

3. Metodologi

3.1 Metode Penelitian

Penelitian ini meliputi dua kegiatan utama yaitu pembuatan dan pengujian. Peralatan dan bahan yang digunakan dalam pengujian adalah sebagai berikut:

- Aluminium tipe AA 1100

- Tool Stainless Steel diameter shoulder 18 mm, diameter pin 6 mm, dan panjang pin 3,2 mm
- Mesin milling vertikal, dengan putaran *tool* 780, 980, dan 1120 rpm dan *feed rate* 15 mm/menit
- Pasta pembersih (autosol), resin dan hardener, mesin poles, cairan etsa dengan perbandingan 1: 2 antara HF dengan alcohol
- Mesin Uji Electric *Brinell Hardness Tester* Hauser Henry S A dengan indenter bola baja 1,2 mm dan beban 12,480 kg
- Mesin uji tarik
- Mikroskop Metalografi *Olympus BX41M*

3.2 Prosedur Pengujian

- Mempersiapkan bahan dan alat yang digunakan untuk penelitian;
- Meletakkan benda kerja yang sesuai di atas meja mesin milling. Benda kerja yang digunakan adalah Aluminium tipe AA 1100 berbentuk plat dengan dimensi panjang 100 mm, lebar 120 mm dan tebal 4 mm. Posisi benda kerja saling bersinggungan satu sama lain;
- Mengatur putaran tool pada mesin milling vertical 780 rpm, 980 rpm dan 1120 rpm
- Proses pengelasan *friction stir welding*;
- Setelah proses pengelasan benda kerja dibersihkan kemudian pembuatan spesimen untuk pengujian sesuai standar ASTM [5];
- Setelah pembuatan spesimen kemudian dilakukan pengujian tarik, uji kekerasan sesuai prosedur uji merusak [6] dan uji struktur mikro sesuai standar ASM [7];
- Setelah selesai pengujian kemudian dilakukan pengambilan data dan pembuatan pembahasan pada spesimen yang telah diuji;
- Kemudian dari pembahasan tersebut diambil kesimpulan dari hasil penelitian.

4. Hasil Dan Pembahasan

4.1 Hasil Pengelasan FSW

Hasil pengelasan menggunakan metode

friction stir welding ditunjukkan pada gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3. Hasil pengelasan FSW

4.2 Hasil Uji Tarik

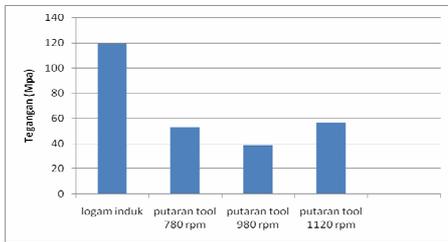
Dalam pengujian tarik dikenal sifat tarik yaitu sifat-sifat yang berhubungan dengan pengujian tarik. Dalam sambungan las sifat tarik dipengaruhi oleh sifat sifat logam induk. Sifat-sifat logam induk adalah sifat-sifat logam secara umum yang meliputi sifat fisik, sifat mekanik maupun sifat kimianya. Table 1 menunjukkan nilai ultimate tensile strength hasil pengujian tarik dari hasil pengelasan aluminium AA 1100 dengan metode friction stir welding.

Tabel 3. Data hasil pengujian tarik

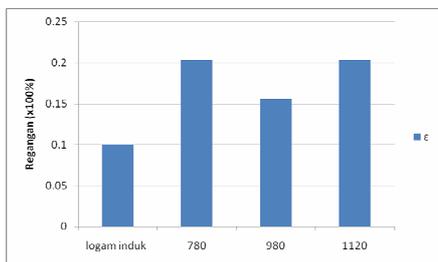
Rpm	A_o (mm)	L_o (mm)	ΔL (mm)	UTS (σ)	ϵ (%)
780	24	32	7	52.2	0.2
980	24	32	5	38.5	0.16
1120	24	32	6.5	56.5	0.2

Dari grafik pada gambar 4 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. Cacat *wormholes* pada pengelasan dengan putaran tool 980 rpm adalah hal utama yang mengurangi kekuatan tarik dan juga ditambah dengan kurangnya penetrasi pada hasil pengelasan. Sedangkan untuk regangan pada gambar 5 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 %.



Gambar 4. Grafik variasi putaran *tool* terhadap kekuatan tarik



Gambar 5. Grafik variasi putaran *tool* terhadap regangan

4.3 Hasil Uji Kekerasan

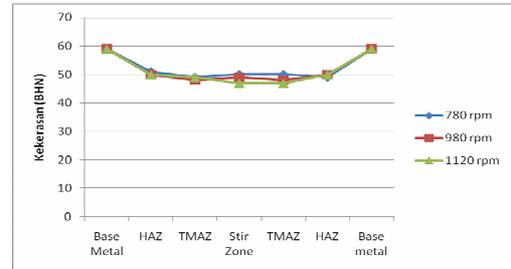
Pengujian kekerasan ini dilakukan pada tiap spesimen hasil pengelasan dengan variasi putaran *tool*. Table 2 menunjukkan data hasil pengujian kekerasan dengan menggunakan uji kekerasan brinell, kemudian pada gambar 6 menunjukkan grafik perbandingan kekerasan pada setiap variasi pengelasan.

Tabel 4. Data hasil pengujian kekerasan (BHN)

Rpm	BM	HAZ	TMAZ	Stir Zone	TMAZ	HAZ	BM
780	59	51	49	50	50	49	59
980	59	50	48	49	48	50	59
1120	59	50	49	50	49	50	59

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.

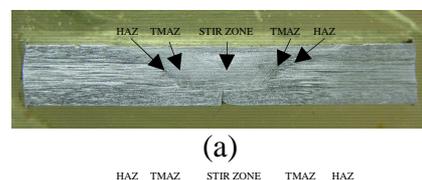


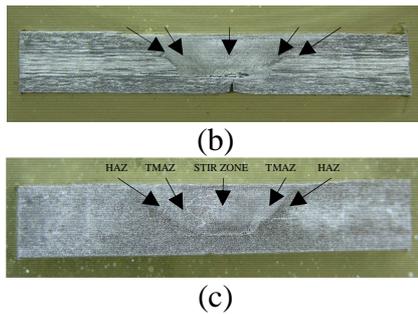
Gambar 6. Grafik nilai kekerasan hasil pengelasan *friction stir welding*

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. Pengerasan akan tercapai bila terjadi pengendapan fasa kedua pada temperatur 160- 185°C dalam waktu 6 sampai 20 jam [1].

4.4 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 7 dapat dilihat hasil dari pengamatan foto makro untuk pengelasan dengan variasi putaran *tool* 780 rpm, 980 rpm dan 1120 rpm.



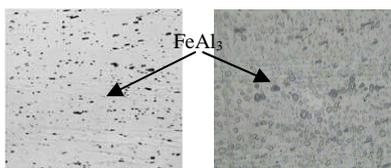


Gambar 7. Foto makro hasil pengelasan dengan variasi putaran tool: (a) 780 rpm, (b) 980 rpm dan (c) 1120 rpm

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.

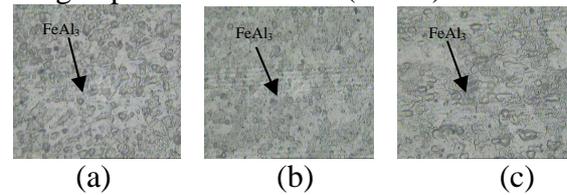
4.5 Hasil Uji Foto Mikro

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* seperti yang dijelaskan pada gambar 9 – 11. 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 $FeAl_3$, seperti yang diperlihatkan pada gambar 8 dibawah ini.

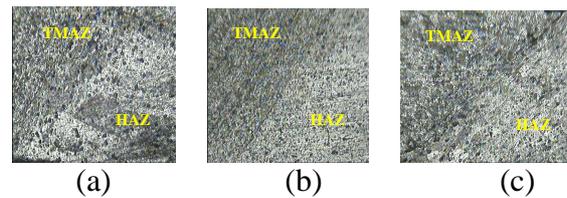


Gambar 8. Struktur mikro *base metal* Aluminium AA1100, menurut *ASM Hand Book Metallography and Microstructures*

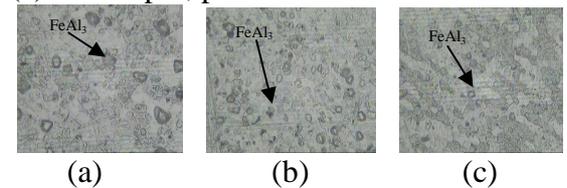
(kiri), setelah pengujian mikrostruktur dengan pembesaran 400x (kanan)



Gambar 9. Struktur mikro daerah *stir zone* dengan variasi putaran tool: (a) 780 rpm, (b) 980 rpm dan (c) 1120 rpm, pembesaran 400x



Gambar 10. Struktur mikro daerah transisi antara TMAZ dan HAZ dengan variasi putaran tool: (a) 780 rpm, (b) 980 rpm dan (c) 1120 rpm, pembesaran 100x



Gambar 11. Struktur mikro daerah HAZ dengan variasi putaran tool: (a) 780 rpm, (b) 980 rpm dan (c) 1120 rpm, pembesaran 400x

5. Kesimpulan

Dari hasil penelitian proses pengelasan dengan metode *friction stir welding* yang telah dilakukan pada material Aluminium 1100 dengan variasi putaran tool maka dapat diambil kesimpulan bahwa 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. 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. Dari pengamatan mikro diketahui bahwa bentuk butir pada daerah *stir zone* partikel FeAl₃ 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.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kami sampaikan kepada DP2M DIKTI yang telah mendanai penelitian ini melalui PKMP.

Daftar Pustaka

- [1] Okamura, T. & Wiryosumarto, H., "Teknologi Pengelasan Logam", 1996, Pradya Paramita, Jakarta.
- [2] Nandan, R., DebRoy, T., Bhadeshia, H.K.D.H. "Recent advances in friction-stir welding – Process, weldment structure and properties", Progress in Materials Science 53 (2008) 980–1023.
- [3] Biswas, P. dan Mandal, N. R. "Effect of Tool Geometries on Thermal History of FSW of AA1100", Supplement to The Welding Journal, July 2011.
- [4] Jayaraman, M., dkk. "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.
- [5] ASTM Volume 9. 2001. *Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials*.
- [6] Yuwono A, H. "Buku Panduan Praktikum Karakterisasi Material 1 Pengujian Merusak (Destructive Testing)". 2009. Departemen Metalurgi Dan Material Fakultas Teknik. Universitas Indonesia.
- [7] ASM Volume 9. 2001. *Metallography And Microstructure Analisis*;