

**ANALISIS PENGARUH BAHAN PIN TERHADAP SIFAT
MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO SAMBUNGAN PLAT
ALUMINIUM PADA PROSES *FRICTION STIR WELDING***



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I pada
Jurusan Teknik Mesin Fakultas teknik**

Oleh:

RICKY OKA MAHENDRA

D 200 120 085

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2019**

HALAMAN PERSETUJUAN

**ANALISIS PENGARUH BAHAN PIN TERHADAP KEKUATAN
TARIK, KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO SAMBUNGAN
PLAT ALUMINIUM PADA PROSES *FRICTION STIR WELDING***

PUBLIKASI ILMIAH

oleh:

RICKY OKA MAHENDRA

D 200 120 085

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen Pembimbing



Ir. BIBIT SUGITO. MT

HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISIS PENGARUH BAHAN PIN TERHADAP KEKUATAN
TARIK, KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO SAMBUNGAN
PLAT ALUMINIUM PADA PROSES *FRICTION STIR WELDING***

OLEH

RICKY OKA MAHENDRA

D 200 120 085

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji

Fakultas Teknik

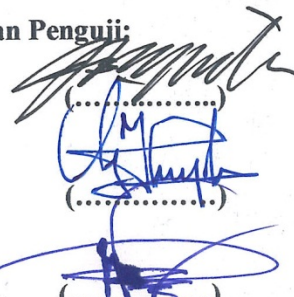
Universitas Muhammadiyah Surakarta

Pada hari Selasa, 13 Agustus 2019

dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dewan Penguji:

1. Ir. Bibit Sugito, MT
(Ketua Dewan Penguji)
2. Ir. Agus Hariyanto, MT
(Anggota I Dewan Penguji)
3. Wijianto, ST,M.Eng.Sc
(Anggota II Dewan Penguji)


(.....)
(.....)
(.....)



Dekan,

Ir. Sri Sunarjono, MT, Ph.D

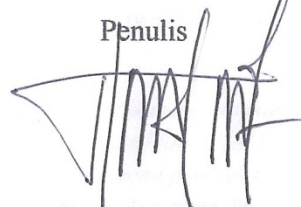
PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa publikasi ilmiah ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan disuatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak ada karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya diatas maka akan saya pertanggung jawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 27 Agustus 2019

Penulis



RICKY OKA MAHENDRA

D 200 120 085

ANALISIS PENGARUH BAHAN PIN TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO SAMBUNGAN PLAT ALUMINIUM PADA PROSES *FRICTION STIR WELDING*

Abstrak

Material aluminium (Al) dan paduannya telah banyak digunakan secara luas di bidang industri. Pengelasan pada penelitian ini menggunakan material aluminium dan pengelasan menggunakan friction stir welding. Teknologi pengelasan gesek puntir (friction stir welding, FSW) merupakan alternatif yang potensial untuk diaplikasikan pada aluminium. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sifat mekanik dan struktur mikro sambungan plat aluminium pada proses friction stir welding dengan variasi bahan pin. Pada penelitian pengelasan ini parameter yang digunakan adalah kecepatan putar 2280rpm, kecepatan pemakanan 60 mm/menit. Bahan pin menggunakan baja AISI 4340, AISI O1 dan AISI D2. Dalam penelitian ini, digunakan mesin freis vertikal merk richon model X8140A dan sambungan menggunakan butt joint, dengan melihat analisis kekuatan sambungan hasil pengelasan dibandingkan dengan pengelasan lainnya. Hasil pengujian ini menunjukkan tegangan tarik maksimal pengelasan menggunakan tool joint AISI 4340 yaitu sebesar 78.01 Mpa dan regangan maksimal menggunakan tool joint AISI D2 yaitu sebesar 22.51 %. Pengujian kekerasan di daerah stir zone semuanya mengalami peningkatan nilai kekerasan dibandingkan daerah base metal dan HAZ. Pengujian struktur mikro pada daerah stir zone terlihat ukuran butiran lebih kecil dan halus dibandingkan dengan daerah HAZ maupun base metal, sehingga pada daerah stir zone nilai kekerasannya lebih tinggi dibandingkan daerah HAZ dan base metal.

Kata Kunci: FSW, Bahan Pin, Sifat Mekanik, Struktur Mikro

Abstract

Aluminum material (Al) and both have been widely used in the industrial sector. Welding in this study uses aluminum material and welding using friction stir welding. Twisted friction welding technology is a potential alternative to be applied to aluminum. This study aims to determine the mechanical properties and microstructure of aluminum plate joints in the friction stir welding process. with a variety of pin material. In this welding study the parameters used are the rotational speed of 2280rpm, feed speed of 60 mm / minute. The pin material uses AISI 4340 steel, AISI

O1 and AISI D2. In this study, the X8140A model of the brand Richon vertical freis machine was used and the connection using a butt joint, by looking at the analysis of the strength of the weld results compared to other welding. The results of this test show that the maximum welding tensile stress using the AISI 4340 tool joint is 78.01 Mpa and the maximum strain using the AISI D2 tool joint is 22.51%. Hardness testing in the stir zone area all experienced an increase in hardness value compared to base metal and HAZ regions. Microstructure testing on the stir zone area showed smaller and finer grain sizes compared to the HAZ and base metal regions, so that the stir zone area had a higher hardness value than the HAZ and base metal regions.

Keywords: FSW, Pin Material, Mechanical Properties, Micro Structur

1. PENDAHULUAN

Pengelasan merupakan suatu proses penting di dalam dunia industri dan merupakan bagian yang tak terpisahkan dari pertumbuhan industri, karena memegang peranan utama dalam rekayasa dan reparasi produksi logam. Pengelasan merupakan suatu proses penyambungan dua bahan material logam atau lebih dengan cara mencairkan sebagian dari logam induk. Banyak industri manufaktur yang mengembangkan teknik-teknik pengelasan. Salah satu teknik pengelasan yang relatif baru adalah *Friction Stir Welding (FSW)*.

Teknologi las gesek (*friction welding*) merupakan salah satu metoda proses pengelasan jenis *solid state welding*. Panas yang terjadi ditimbulkan oleh dua logam yang bergesekan. Dengan mengkombinasikan panasdan tekanan tempa maka dua buah logam akan tersambung.

Teknologi las gesek ini mulai banyak diperhatikan, mengingat bahwa teknologi las gesek ini mudah dioperasikan, proses operasinya cepat, tidak memerlukan logam pengisi, tidak memerlukan bentuk *grooving*, hasil penyambungan baik, mudah dioperasikan karena mesin las gesek menyerupai mesin bubut. Proses operasional cepat karena hanya memerlukan waktu gesek yang relative cepat. Daerah pengaruh panas (*HAZ*) pada logam yang disambung relative sempit karena panas yang terjadi

tidak sampai mencapai temperature cair logam dan adanya tekanan tempa memungkinkan efek negatif panas logam akan tereliminasi. Namun teknologi ini belum banyak diterapkan pada industri menengah dan kecil. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian tentang penerapan teknologi las gesek dalam proses penyambungan dua buah logam untuk membentuk produk pin sprin pin.

Sebagai salah satu teknik pengelasan yang relatif baru, pengembangan *FSW* saat ini masih sangat luas cakupannya. Variabel- variabel yang diteliti sangat bervariasi dan menarik untuk dikembangkan. alumunium adalah bahan umum yang banyak digunakan dalam dunia otomotif dan industri logam . Dalam hal ini akan dilakukan penelitian tentang *Friction Stir Welding* alumunium dengan variasi bahan pin. Diharapkan dari proses *FSW* ini didapat kesimpulan bagaimana pengaruh bahan pin terhadap sifat mekanik dan struktur mikro sambungan plat alumunium pada proses *Friction Stir Welding*.

2. METODE

2.1 Alat Penelitian

Alat Pengelasan : Mesin *Milling* dan Bahan Pin

Alat Bantu : Mesin *Shearing*, gergaji, cekam, jangka sorong, cairan etsa, katalis dan resin, kikir, amplas, ragum, *spot infrared thermometer*.

Alat Pengujian : *Universal testing machine*, *Spectrometer*, *Microhardness vikers*, *Microskop micro*.

2.2 Bahan Penelitian

Material : Plat Aluminium

Bahan PIN : Baja AISI 4340, AISI O1 dan AISI D2

2.3 Tempat Penelitian

Tempat penelitian : laboratorium balai besar latihan kerjaindustri Surakarta (BBLKI), Laboratoriumlogam politeknik manufaktur ceper klaten, AKPRIND Yogyakarta, laboratorium akademi

teknik warga surakarta, laboratorium terpadu Universitas diponegoro.

2.4 Proses Penelitian

a. Persiapan

Memepersiapkan alat yang akan digunakan pada saat proses penelitian yaitu :
Pencekam material, bahan pin, dan mesin *milling* serta alat penunjangnya.
Membeli material yang digunakan saat penelitian yaitu palat Aluminium.

b. Pengelasan

Pengelasan dilakukan dengan parameter yang sudah ditentukan sebagai berikut:

Parameter pengelasan

Rotation Speed : 2280 rpm

Feed rate : 60 mm/menit

Tilt angle : 1°

Depth plunge : 1.4 mm

c. Pembuatan spesimen uji

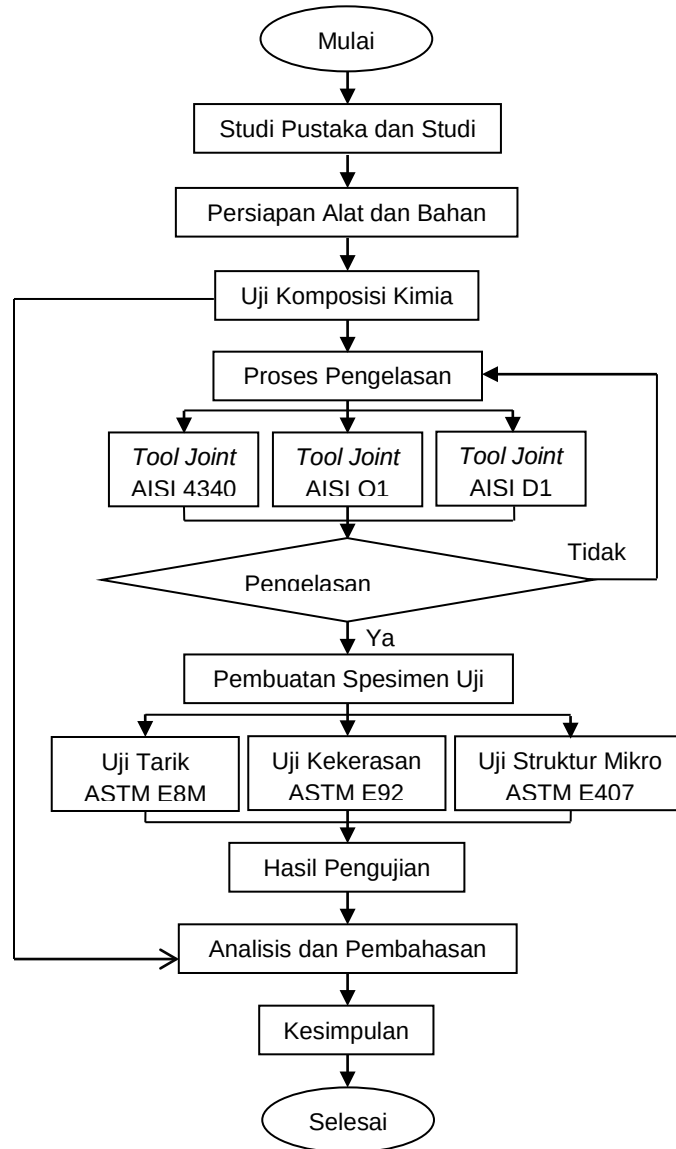
Spesimen uji dibuat sesuai dengan standar yang digunakan yaitu :

- Pengujian tarik menggunakan standar ASTM E8M
- Pengujian kekerasan menggunakan standar ASTM E92
- Pengujian foto micro menggunakan standar ASTM E407

d. Melakukan pengujian dengan menggunakan standar yang telah di tentukan

e. Mengambil data hasil pengujian untuk di analisis lebih lanjut

2.5 Diagram Alir Penelitian



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data hasil pengujian komposisi kimia

Tabel 1. Komposisi Aluminium

No	Unsur	Prosentase (%)
1	Al	98,86
2	Si	0,123
3	Fe	0,567
4	Cu	0,171
5	Mn	<0,0200
6	Mg	<0,0500
7	Cr	0,0161
8	Zn	0,465
9	Ni	<0,0200
10	Sn	<0,0500
11	Ti	<0,0100
12	Pb	<0,0300
13	Be	<0,0001
14	Ca	<0,0030
15	Sr	<0,0005
16	V	0,0124
17	Zr	0,0044

Tabel 2. Komposisi AISI4340

No	Unsur	Prosentase (%)
1	Fe	96.1
2	C	0.338
3	Si	0.137
4	Mn	0.607
5	P	<0.0050
6	S	<0.0050
7	Cr	1.25
8	Mo	0.243
9	Ni	1.10
10	Al	0.0040
11	Co	0.0936
12	Cu	0.0599
13	Nb	0.0155
14	Ti	<0.0020
15	V	0.0184
16	W	<0.0250
17	Pb	<0.0100
18	Ca	0.0009
19	Zr	0.0100

Tabel 3 AISI O1

No	Unsur	Prosentase (%)
1	Fe	96,3
2	C	1.18
3	Si	0.145
4	Mn	1.08
5	P	<0.0050
6	S	<0.0050
7	Cr	0.472
8	Mo	0.0195
9	Ni	0.0388
10	Al	<0.0020
11	Co	0.625
12	Cu	0.0516
13	Nb	9.0268
14	Ti	0.0041
15	V	0.0126
16	W	0.528
17	Pb	<0.0100
18	Ca	0.0005
19	Zr	0.0119

Tabel 4 AISIS D2

No	Unsur	Prosentase (%)
1	Fe	86.0
2	C	0.214
3	Si	0.287
4	Mn	0.362
5	P	0.0652
6	S	0.0395
7	Cr	12.6
8	Mo	0.0461
9	Ni	0.0959
10	Al	<0.0020
11	Co	0.0624
12	Cu	0.0657
13	Nb	0.0266
14	Ti	0.0127
15	V	0.0693
16	W	<0.0250
17	Pb	0.0226

3.2 Foto hasil pengelasan

Foto hasil pengelesan *FSW*

- a. Pengelasan dengan *tool joint* baja AISI 4340/VCN

Hasil pengelasan:

- Permukaan cukup kasar
- Pengelasan stabil
- Suhu pengelasan ± 160



Gambar 2 hasil pengelasan baja AISI 4340

- b. Pengelasan dengan *tool joint* baja AISI O1/2510

Hasil pengelasan:

- Permukaan halus
- Pengelasan stabil
- Suhu pengelasan ± 154



Gambar 3 Hasil pengelasan baja AISI O1

- c. Pengelasan dengan *tool joint* AISI baja AISI D2/SKD

Hasil pengelasan:

- Permukaan cukup halus
- Pengelasan stabil
- Suhu pengelasan ± 138

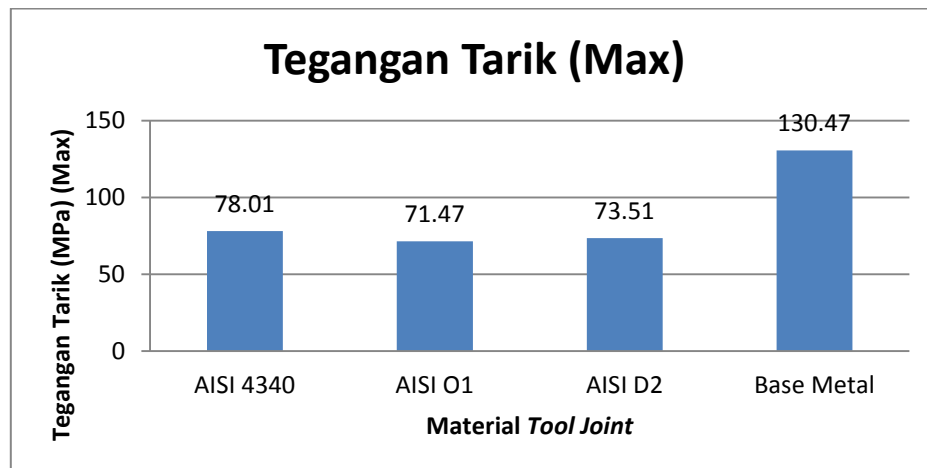


Gambar 4 Hasil pengelasan baja AISI D2

3.3 Data Tegangan Hasil Pengujian Tarik

Tabel 5 Data Tegangan Hasil Pengujian Tarik FSW dengan variasi bahn pin

Material	No	A_0 (mm^2)	P max (N)	Tegangan tarik (MPa)	Rata-rata Tegangan Tarik (Max) (MPa)
AISI 4340	1	9.6	718.04	74.80	78.01
	2	9.6	797.64	83.09	
	3	9.6	730.66	76.12	
AISI O1	1	9.6	690.21	71.90	71.47
	2	9.6	750.18	78.15	
	3	9.6	617.73	64.35	
AISI D2	1	9.6	701.70	73.10	73.51
	2	9.6	672.95	70.10	
	3	9.6	742.38	77.33	
BM	1	9.6	1271.59	132.46	130.47
	2	9.6	1222.51	127.35	
	3	9.6	1263.35	131.60	



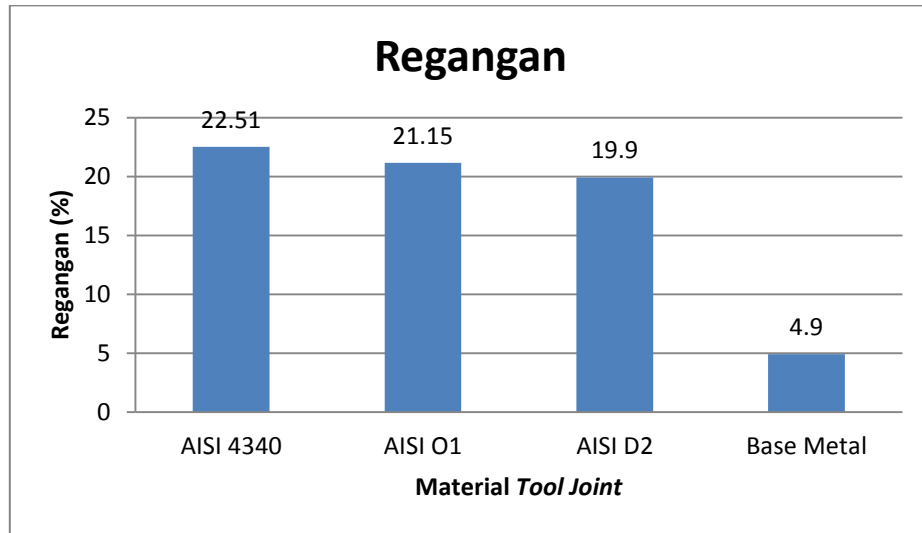
Gambar 5 Histogram Perbandingan Tegangan Hasil Pengujian Tarik

Dilihat dari gambar 5 diatas menunjukkan bahwa nilai tegangan tarik yang terbesar pada pengelasan yang menggunakan *tool joint* adalah baja AISI 4340 dengan nilai tegangan tarik 78.01 MPa. Kemudian nilai tegangan tarik terbesar selanjutnya pada pengelasan menggunakan *tool joint* yaitu baja AISI D2 dengan memiliki nilai tegangan tarik 73.51 MPa. Dan nilai tegangan tarik paling rendah pada pengelasan menggunakan *tool joint* baja AISI O1 dengan nilai tegangan tarik 71.47MPa. Hal ini dikarenakan sifat material yang dipengaruhi oleh perbedaan temperatur saat proses pengelasan sehingga terjadi perubahan sifat mekanik pada hasil sambungan material tersebut. Jika dibandingkan dengan nilai tegangan tarik *base metal* alumunium yang sebesar 130.47 MPa. Maka nilai tegangan tarik hasil pengelasan FSW yang tertinggi hanya 70% dari nilai tegangan tarik alumunium tersebut.

3.4 Data Regangan Hasil Pengujian Tarik

Tabel 6 Data regangan Hasil Pengujian Tarik FSW dengan variasi bahan pin

Material	No	l_0 (mm)	Δl (mm)	Regangan (%)	Rata-rata Regangan (%)	Batas Patahan
AISI 4340	1	32	7.4	23.16	22.51	Stir Zone
	2	32	8.4	26.25		Stir Zone
	3	32	5.8	18.13		Stir Zone
AISI O1	1	32	6.3	19.69	21.15	Stir Zone
	2	32	5.7	23.44		Stir Zone
	3	32	6.5	20.31		Stir Zone
AISI D2	1	32	7	21.88	19.9	Stir Zone
	2	32	6.2	19.38		Stir Zone
	3	32	5.9	18.44		Stir Zone
BM	1	32	1.6	5	4.9	-
	2	32	1.6	5		-
	3	32	1.5	4.69		-



Gambar 6 Histogram Perbandingan Regangan Hasil Pengujian Tarik

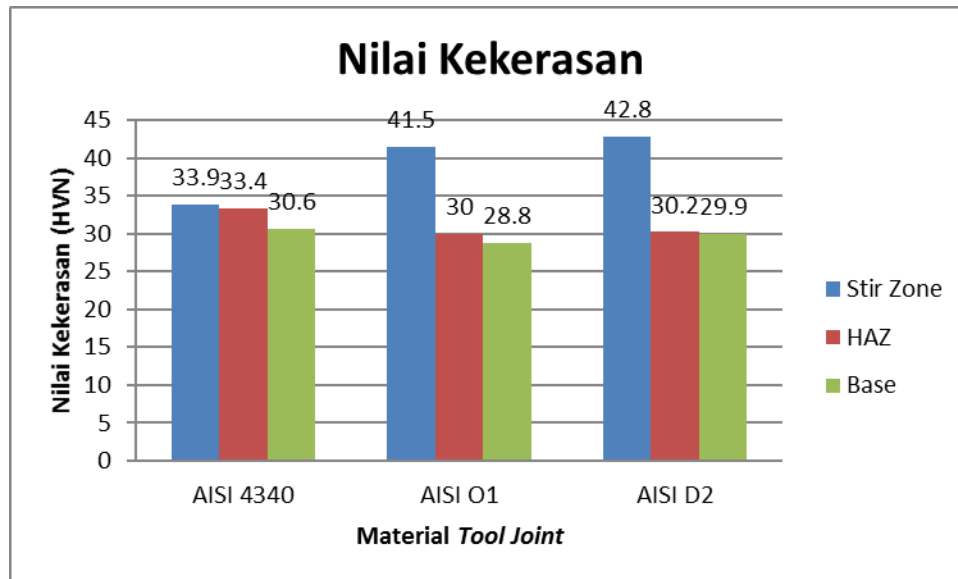
Dilihat dari gambar 6 menunjukkan nilai regangan terbesar pada pengelasan adalah menggunakan *tool joint* baja AISI 4340 dengan nilai regangan 22.51 %. Kemudian nilai regangan terbesar selanjutnya pada pengelasan menggunakan *tool joint* baja AISI 01 dengan nilai regangan 21.15 %. Dan nilai regangan paling rendah pada pengelasan menggunakan *tool joint* baja AISI D2 dengan nilai regangan 19.9%. Dari keseluruhan pengujian yang dilakukan patah terjadi pada spesimen bagian *stir zone*.

3.5 Data Hasil Pengujian Kekerasan

Pada hasil pengujian kekerasan dilakukan setiap spesimen pengelasan, pengujian kekerasan menggunakan uji kekerasan *Vickers Microhardness* dengan beban 0.25 kgf, waktu penekanan 15 detik. Hasil pengujian kekerasan *Vickers Microhardness* dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 7 Data Nilai Kekerasan Hasil Pengujian Kekerasan

No	Tool joint	Daerah	Nilai Kekerasan (HVN)	Rata-rata Nilai Kekerasan (HVN)
1	AISI 4340	HAZ	33	30.6
			29.4	
			29.6	
		Stir zone	35.4	33.9
			35.2	
			31.2	
		Base	33.1	33.4
			32.2	
			34.9	
2	AISI O1	HAZ	29.1	30
			28.3	
			32.4	
		Stir zone	40.9	41.5
			41.6	
			41.9	
		Base	28.7	28.8
			28.7	
			29	
3	AISI D2	HAZ	30	30.2
			30.1	
			30.4	
		Stir zone	42.4	42.8
			42.9	
			43.1	
		Base	28.7	29.9
			30.6	
			30.3	



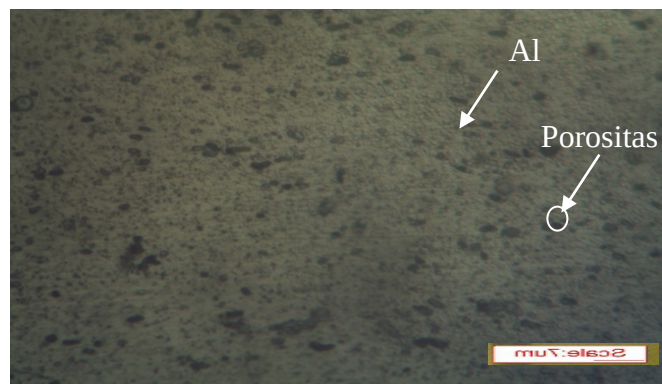
Gambar 7 Histogram Perbandingan Nilai Kekerasan FSW dengan variasi bahan pin

Dari histogram uji kekerasan menunjukkan nilai-nilai kekerasan pada tiap daerah *HAZ*, *Base* dan las pada setiap variabel pengelasan *friction stir welding* dengan variasi bahan *pin* memiliki nilai kekerasan yang berbeda pada setiap bidang ujinya. Dan dari data tersebut dapat diperoleh bahwa pada semua daerah *Stir zone* mempunyai nilai kekerasan paling tinggi dibanding daerah lainnya, yaitu *HAZ* dan *base metal*. Nilai kekerasan paling tinggi terdapat pada daerah *Stir Zone* pengelasan menggunakan *tool joint* baja AISI D2 dengan nilai kekerasan 42.8 HVN. Kemudian nilai kekerasan paling tinggi selanjutnya terdapat pada daerah *Stir Zone* pengelasan menggunakan *tool joint* baja AISI O1 dengan nilai kekerasan 41.5 HVN. Dan nilai kekerasan paling rendah terdapat pada daerah *stir zone* pengelasan menggunakan *tool joint* baja AISI 4340 dengan nilai kekerasan 33.9 HVN.

3.6 Hasil Pengujian Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro dilakukan untuk mengetahui perubahan struktur mikro yang terjadi pada proses pengelasan. Hasil pengelasan *friction stir welding* mempunyai beberapa daerah pengelasan yaitu *stir zone*, *HAZ* dan *base metal*.

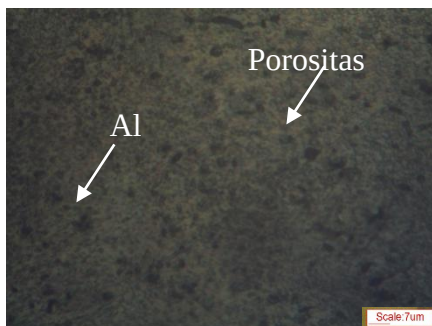
1) Base metal



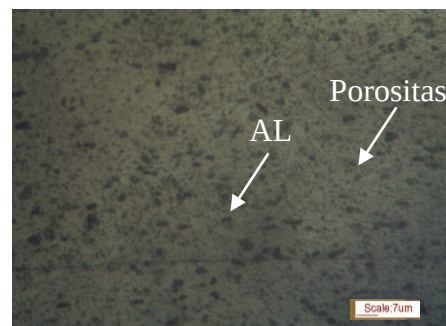
Gambar 8 Struktur Mikro perbesaran 100x Daerah *Base Metal*

Base metal merupakan daerah yang tidak terpengaruh oleh panas pengelasan baik adukan maupun panas yang ditimbulkan.

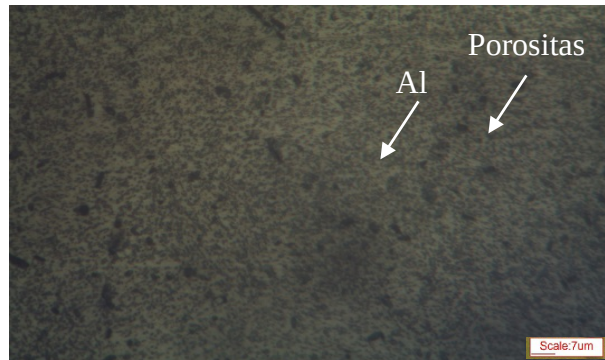
2) HAZ



(A)



(B)



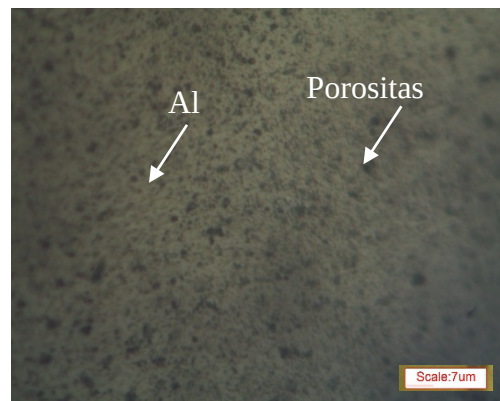
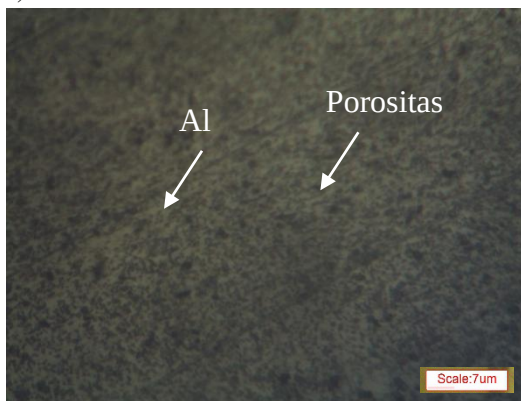
(C)

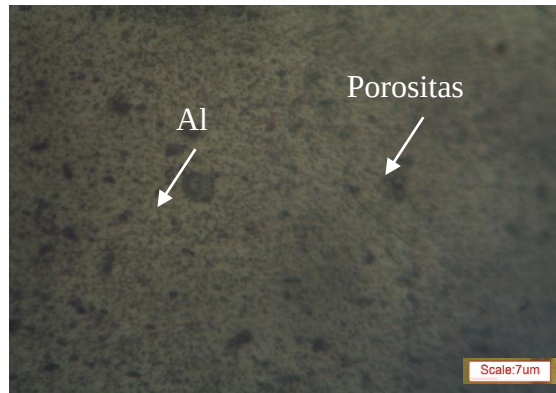
Gambar 9 Struktur Mikro perbesaran 100x Daerah HAZ, (A) Baja AISI 4340, (B) Baja AISI O1, (C) Baja AISI D2

Daerah Haz merupakan daerah yang mengalami siklus termal tetapi tidak mengalami defromasi plastis. Pada daerah ini juga terjadi perubahan struktur mikronya. Daerah haz akan terjadi perubahan ukuran butir, dimana ukurannya tergantung dari karakteristik material, suhu, lama pengelasan, dan laju pendinginan.

Pada gambar 9 ukuran butiran HAZ FSW mengalami sedikit perubahan ukuran butiran semakin besar dibandingkan dengan base metal.

3) Stir zone





Gambar 10 Struktur Mikro perbesaran 100x Daerah *Stir Zone*, (A) Baja AISI 4340, (B) Baja AISI O1, (C) Baja AISI D2

Stir Zone adalah daerah yang terdampak langsung oleh panas yang dihasilkan pada saat pengelasan dan daerah yang terdeformasi akibat proses pengadukan dari *pin tool*.

Pada gambar 10 terlihat struktur mikro daerah *stir zone* dari semua hasil pengelasan mengalami perubahan ukuran butiran menjadi sangat kecil dan terlihat halus dibandingkan daerah *haz* maupun *base metal*. Pada daerah *stir zone* terjadi *grain refinement*, maksudnya adalah daerah yang mengalami deformasi plastis dan pemanasan selama proses *FSW* sehingga menghasilkan rekristalisasi yang menghasilkan butiran halus di daerah pengadukan. Semakin banyak batas kristal (kristal nya semakin halus) maka semakin besar tingkat rintangan yang terjadi terhadap gerakan dislokasi, yang berarti semakin keras pada bagian tersebut.

4. PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis data dan pembahasan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- a. Dari hasil pengujian tarik pengelasan menunjukkan bahwa nilai tegangan tarik paling tinggi menggunakan *tool joint* adalah menggunakan baja AISI

- 4340 dengan nilai 78.01 MPa. Sedangkan untuk nilai regangan paling tinggi menggunakan *tool joint* baja AISI 4340 dengan nilai 22.51 %.
- b. Hasil dari pengujian kekerasan, nilai kekerasan paling tinggi daerah *stir zone* terdapat pada pengelasan menggunakan *tool joint* baja AISI D2 dengan nilai kekerasan 42.8 HVN. Sedangkan nilai kekerasan paling rendah terdapat pada pengelasan menggunakan *tool joint* baja AISI 4340 dengan nilai kekerasan 33.9 HVN.
 - c. Hasil foto struktur mikro pada pengelasan Aluminium daerah *stir zone* terlihat ukuran butiran lebih kecil dan halus dibandingkan dengan daerah *HAZ* maupun base metal, sehingga pada daerah *stir zone* nilai kekerasannya lebih tinggi dibandingkan daerah *HAZ* dan base metal.

4.2 Saran

Pada penelitian ini terdapat banyak kekurangan. Maka dari itu penulis menyarankan untuk:

- a. Pemilihan material yang akan diteiti usahakan sudah tersertifikasi agar tidak melakukan pengujian komposisi kimia lagi.
- b. Literatur dan referensi diharapkan untuk lebih dipahami lebih lanjut demi menunjang penelitian yang lebih baik.
- c. Pada saat mencekam benda kerja harus diperhatikan, benda kerja harus rapat dan dicekam dengan kuat agar tidak bergeser saat proses pengelasan.
- d. Dari hasil pengelasan bila perlu mengulangi lagi untuk mendapatkan hasil yang terbaik agar mempermudah dalam mengolah data hasil pengujian.
- e. Setelah melakukan pengelasan *tool joint* perlu dicek keausannya secara berkala agar mendapatkan hasil pengelasan yang maksimal, Diperlukan alat pengukur suhu yang lebih akurat seperti penambahan *thermocouple*, karena menggunakan pengukur suhu *spot infrared thermometer* kurang akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- American Society for Testing and Materials. 1997. *Standard Test Methods for Microindentation Hardness of Material*. ASTM. E92.
- American Society for Testing and Materials. 2001. *Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens*. ASTM. E3-01.
- American Society for Testing and Materials. 2003. *Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Material*. ASTM. E8M-04.
- ASM Handbook Vol 9. 2004. *Metallography And Microstructure*. ASM International.
- Edward, Z., Hendropasetyo, W., 2013. *Pengaruh Bentuk Probe Pada Tool Shoulder Terhadap Metalurgi Aluminium Seri 5083 Dengan Proses Friction Stir Welding*. JURNAL TEKNIK POMITS S Vol. 2, No. 1
- Fuji, H., Cui, L., Maeda, M., 2006. *Effect Of Tool Shape On Mechanical Properties And Microstructure Of Friction Stir Welded Aluminium Alloys*. Materials Science & Engineering A. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2005.11.045>
- Groover, M.P., 2010. *Fundamentals of Modern Manufacturing: Material, Processes and Systems*. Hoboken. Wiley.
- Iqbal, M., Tarkono., Ibrahim, G.A. 2014. *Pengaruh Putaran dan Kecepatan Tool Terhadap Sifat Mekanik Pada Pengelasan Friction Stir Welding Aluminium 5052*. Skripsi. Jurnal Fema. Vol. 2, No. 1, Hal 23-27.
- Kalpakjian, S. dan Schmid, S.R. 2009. *Manufacturing Engineering and Technology*. Sixth Edition, Pentice Hall, New York
- Kenyon, W., Ginting, D. 1985. *Dasar-dasar Pengelasan*. Erlangga. Jakarta.
- Mishra, R.S., Kumar, N., dan De, P.S., 2014. *Friction Stir Welding And Processing: Science And Engineering*, Springer International, Swiss
- Mishra, R.S., Ma, Y.Z., 2005. *Friction Stir Welding And Processing Material Science And Engineering*, R 50:1-78
- Mishra, R.S., dan Mahoney, M.W., 2007. *Friction Stir Welding And Processing Material Science And Engineering*. www.asminternational.org

Moghaddam, M.S., Parvizi, R., Sabzevar, M.H., Davoodi, A., 2011. *Microstructural And Mechanical Properties Of Friction Stir Welded Cu-30Zn Brass Alloy At Various Feed Speeds: Influence Of Stir Bands*. Material And Design. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2011.01.015>