

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



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

Oleh:

WAHYU NANANG WITANTO

D 200 120 079

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

2019

HALAMAN PERSETUJUAN

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

PUBLIKASI ILMIAH

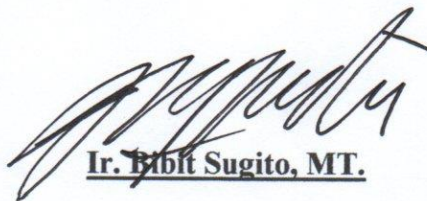
Oleh:

WAHYU NANANG WITANTO

D 200 120 079

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing



Ir. Bibit Sugito, MT.

HALAMAN PENGESAHAN

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

OLEH

WAHYU NANANG WITANTO
D 200 120 079

**Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Pada hari Senin, 19 Agustus 2019
dan dinyatakan telah memenuhi syarat**

Dewan Penguji:

1. Ir. Bibit Sugito, MT.

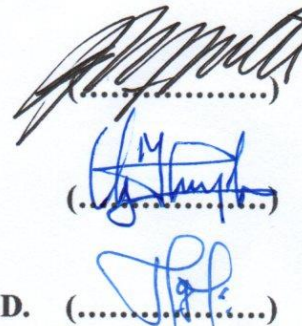
(Ketua Dewan Penguji)

2. Ir. Agus Hariyanto, MT.

(Anggota I Dewan Penguji)

3. Ir. Agus Dwi Anggono, ST, M.Eng, Ph.D.

(Anggota II Dewan Penguji)



Dekan,



Ir. H. Sri Sunarjono, MT. Ph.D.

PERNYATAAN

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

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya diatas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 19 Agustus 2019

Penulis



WAHYU NANANG WITANTO

D 200 120 1079

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

Abstrak

Pengelasan dalam industri manufaktur memiliki peranan penting pada proses penyambungan logam. Salah satu metode pengelasan adalah *Friction Stir Welding* (FSW). Metode pengelasan FSW adalah memanfaatkan gesekan yang terjadi antara tool dan benda kerja yang akan disambung. Penyambungan ini terjadi karena pengadukan dua sisi potongan logam yang telah mulai melunak. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sifat mekanik dan struktur mikro sambungan plat tembaga pada *proses friction stir welding* dengan variasi bahan pin. Pengelasan pada penelitian ini menggunakan material tembaga, sambungan menggunakan *butt joint*, parameter yang digunakan adalah kecepatan putar 1250 rpm, kecepatan pemakanan 12.5 mm/menit. Bahan pin menggunakan baja AISI 4340, AISI O1 dan AISI D2. Analisis dilakukan dengan pengujian tarik, *micro vickers* dan foto mikro. Hasil pengujian ini menunjukkan tegangan tarik maksimal dan regangan maksimal pengelasan menggunakan *tool joint* AISI O1 dengan nilai tegangan tariknya sebesar 213.43 Mpa dan regangan maksimalnya yaitu sebesar 3.81 %. Pengujian kekerasan di daerah *stir zone* semuanya mengalami peningkatan nilai kekerasan dibandingkan daerah HAZ dan *base metal*. Hasil pengujian struktur mikro pada daerah *stir zone* dari semua hasil pengelasan mengalami perubahan ukuran butiran menjadi sangat kecil dan terlihat halus dibandingkan HAZ dan *base metal*.

Kata kunci: FSW, Bahan Pin, Cu, Sifat Mekanik, Struktur Mikro.

Abstract

Welding in the manufacturing industry has an important role in the process of connecting metals. One of the welding methods is Friction Stir Welding (FSW). FSW welding method is utilizing the friction that occurs between the tool and the workpiece to be connected. This connection occurs because of the stirring of two sides of metal pieces that have begun to soften. This study aims to determine the mechanical properties and microstructure of copper plate joints in the friction stir welding process with a variety of pin materials. Welding in this study uses copper material, the connection uses a butt joint, the parameters used are the rotational speed of 1250 rpm, the feed speed is 12.5 mm / minute. The pin material uses AISI 4340 steel, AISI O1 and AISI D2. The analysis was carried out by tensile testing, micro vickers and micro photographs. The results of this test show the maximum tensile stress and maximum welding stress using the AISI O1 joint tool with a tensile stress value of 213.43 Mpa and a maximum strain of 3.81%. Hardness testing in the stir zone area all experienced an increase in hardness value compared to the HAZ and base metal regions. The results of microstructure testing on the stir zone area of all

welding results change in grain size to be very small and look smooth compared to HAZ and base metal

Keywords: FSW, Pin Material, Cu, Mechanical Properties, Micro Structure.

1. PENDAHULUAN

Pengelasan *Friction Stir Welding (FSW)* ialah pengelasan yang memanfaatkan energi panas dari gesekan *tool pin* dengan material benda kerja yang akan disambung. Penyambungan ini terjadi karena pengadukan dua sisi potongan logam yang mulai melunak akibat gesekan. *Friction Stir Welding (FSW)* ditemukan oleh Wayne Thomas di *The Welding Institute (TWI)* pada tahun 1991 dan mendapat hak paten pertama di *United Kingdom* pada bulan Desember 1991.

Friction Stir Welding (FSW) harus memerhatikan beberapa parameter untuk mendapatkan proses yang optimal, antara lain : putaran *tool (rotational speed)*, kecepatan pengelasan (*welding speed*), kedalaman penetrasi *tool (tool deep plunge)*, sudut kemiringan *tool* terhadap benda kerja, dan bentuk/profil dari pin. Pemilihan parameter FSW yang tepat, akan mendapatkan hasil pengelasan yang baik dan meminimalkan cacat pengelasan yang terjadi.

Secara umum FSW memiliki beberapa keuntungan dibanding las konvensional atau las *fusion* (lebur) seperti las busur (*arc welding*). Keuntungan FSW tersebut antara lain adalah mengurangi percikan api, sinar busur las, tidak menggunakan gas apapun dalam proses las, tidak ada perubahan volume material secara signifikan, persiapan pengelasan yang sederhana, tidak membutuhkan logam pengisi dan tidak menghasilkan asap dampak lingkungan yang negatif. Dari semua keunggulan yang dipaparkan, FSW sangat sesuai untuk menyambung material tembaga dengan variasi bahan pin yang berbeda.

Penelitian ini akan ditujukan untuk mengetahui lebih jelas mengenai kekuatan sambungan las *friction stir welding* material sejenis dengan variasi bahan pin yang berbeda. Penelitian ini akan diuji dengan menggunakan uji tarik, uji kekerasan, dan juga melihat struktur mikronya. Diharapkan dari proses FSW ini didapat kesimpulan bagaimana pengaruh material yang disambung terhadap sifat mekanik dan struktur mikronya.

2. METODE

2.1 Alat Penelitian

Alat Pengelasan : Mesin *milling* dan *tool joint*

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

Alat pengujian : *Universal testing machine*, *Spectrometer*, *Microhardness vickers*, *Microskop micro*.

2.2 Bahan Penelitian

Material : Plat Tembaga

Tool Joint : Baja AISI 4340, AISI O1 dan AISI D2

2.3 Tempat Penelitian

Tempat Penelitian : Laboratorium Balai Besar Latihan Kerja Industri Surakarta (BBLKI), laboratorium Solo *Technopark*, Laboratorium Logam Politeknik Manufaktur Ceper Klaten, Laboratorium Teknik Mesin Akademi Teknik Warga Surakarta, Laboratorium Terpadu Universitas Diponegoro.

2.4 Proses Penelitian

a. Persiapan

Mempersiapkan alat yang akan digunakan pada saat proses penelitian, yaitu : pencekam material, *tool joint* dan mesin *milling* serta alat penunjangnya. Membeli material yang akan digunakan saat penelitian yaitu: plat tembaga.

b. Pengelasan

Pada penelitian ini menggunakan parameter sebagai berikut:

- *Rotation speed* : 1250 rpm
- *Feeding* : 12.5 mm/menit
- Kemiringan *tool* : 1°
- *Depth plunge* : 1.4 mm

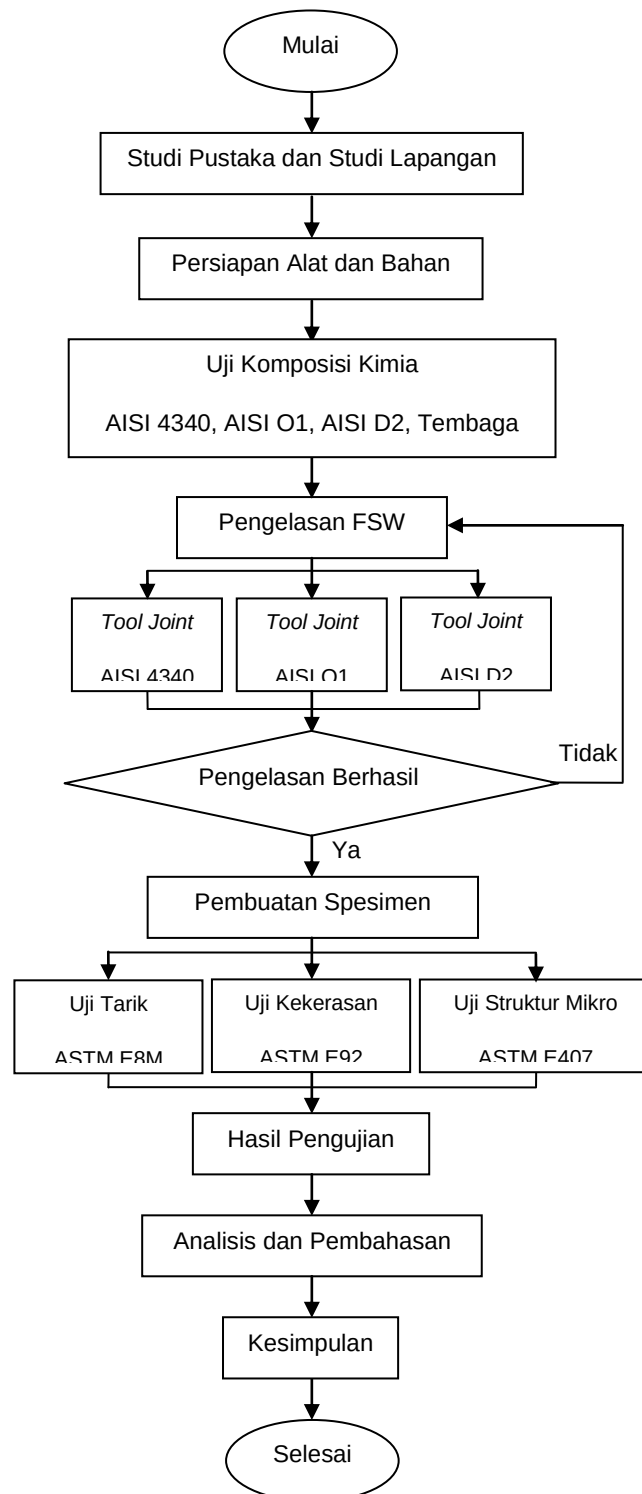
c. Pembuatan spesimen uji

Spesimen uji dibuat sesuai dengan standar yang digunakan, yaitu:

- Pengujian tarik menggunakan standar ASTM E8M

- Pengujian kekerasan menggunakan standar ASTM E92
 - Pengujian foto mikro menggunakan standar ASTM E407
- d. Melakukan pengujian dengan menggunakan standar yang telah ditentukan.
- e. Mengambil data hasil pengujian untuk dianalisis lebih lanjut.

2.5 Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram alir penelitian

3. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

3.1 Data hasil pengujian komposisi kimia

Tabel 1. Komposisi Tembaga

No	Unsur	Prosentase (%)
1	Cu	99.1
2	Zn	0.256
3	Pb	<0.0100
4	Sn	0.246
5	Mn	0.0042
6	Fe	0.0266
7	Ni	0.0631
8	Si	0.0247
9	Mg	<0.0050
10	Cr	0.0160
11	Al	0.0237
12	As	0.0343
13	Be	<0.0020
14	Ag	0.0052
15	Co	0.0330
16	Bi	0.0300
17	Cd	0.0765
18	Zr	<0.0020

Tabel 2. Komposisi AISI 4340

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. Komposisi 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	0.0625
12	Cu	0.0516
13	Nb	0.0268
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. Komposisi AISI 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

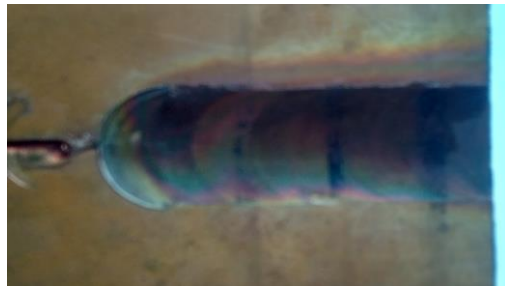
3.2 Foto Hasil Pengelasan FSW

Foto hasil penelitian *FSW* dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

1) Pengelasan Material pin/*tool joint* baja AISI 4340

Hasil pengelasan :

- Pengelasan stabil
- Suhu pengelasan $\pm 210^{\circ} \text{C}$



Gambar 2 Hasil pengelasan dengan pin/*tool joint* Baja AISI 4340

2) Pengelasan material pin/*tool joint* Baja AISI 01

Hasil pengelasan :

- Pengelasan stabil
- Suhu pengelasan $\pm 250^{\circ} \text{C}$



Gambar 3 Hasil pengelasan dengan pin/*tool joint* Baja AISI 01

3) Pengelasan material pin/*tool joint* Baja D2

Hasil pengelasan :

- Pengelasan stabil
- Suhu pengelasan $\pm 225^{\circ} \text{C}$

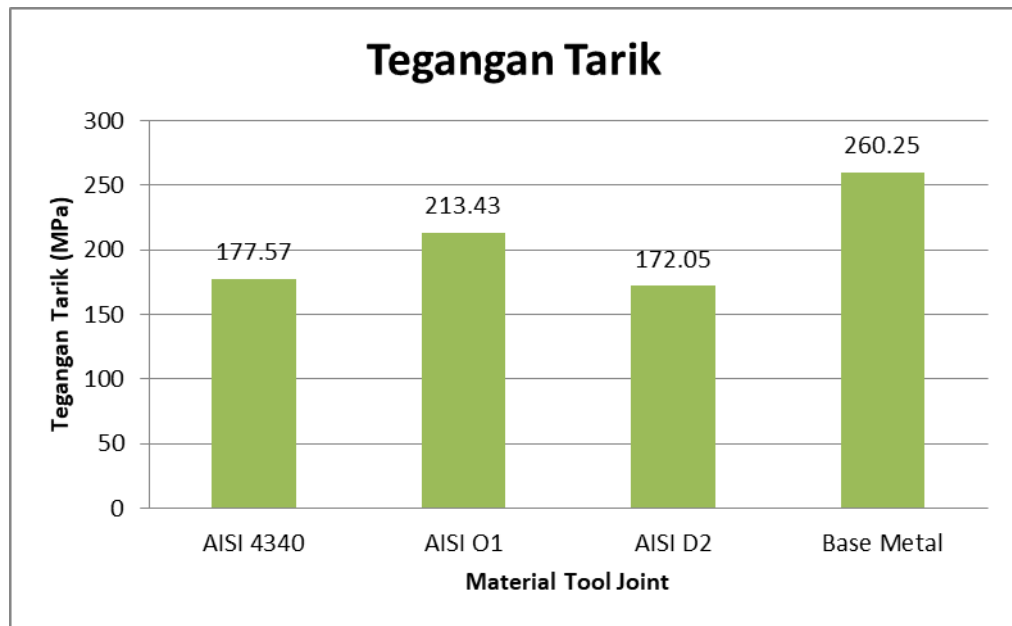


Gambar 4 Hasil pengelasan dengan material pin/*tool joint* Baja D2

3.3 Data Tegangan Hasil Pengujian Tarik

Tabel 5. Data Tegangan Hasil Pengujian Tarik FSW dengan variasi bahan Pin.

Material	No	A_0 (mm^2)	P max (N)	Tegangan tarik (MPa)	Rata-rata Tegangan Tarik (MPa)
AISI 4340	1	9.6	1819.65	189.55	177.57
	2	9.6	1473.84	153.53	
	3	9.6	1820.56	189.64	
AISI O1	1	9.6	2256.54	235.06	213.43
	2	9.6	1745.96	181.87	
	3	9.6	2144.26	223.36	
AISI D2	1	9.6	1852.94	193.01	172.05
	2	9.6	1148.99	119.69	
	3	9.6	1953.07	203.44	
BM	1	9.6	2488.32	259.2	260.25
	2	9.6	2489.17	259.29	
	3	9.6	2517.66	262.26	



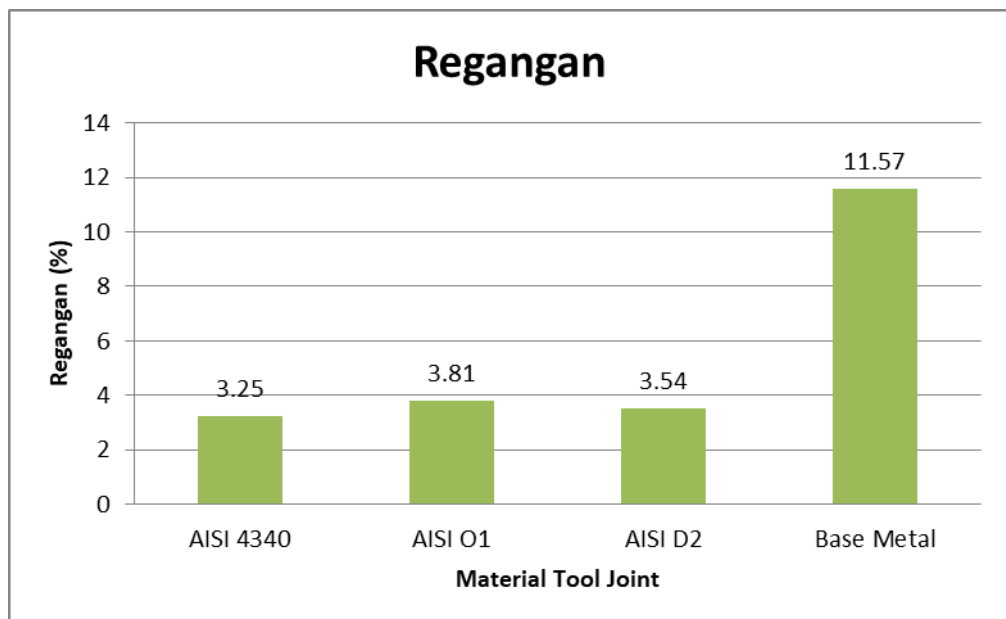
Gambar 5. Histogram Perbandingan Tegangan Hasil Pengujian Tarik FSW Dengan Variasi Bahan *Pin*.

Dilihat dari gambar 5 menunjukkan hasil tegangan tarik yang terbesar pada pengelasan yang menggunakan pin/*tool joint* baja AISI O1 dengan nilai tegangan tariknya sebesar 213.43 Mpa. Selanjutnya tegangan terbesar selanjutnya pada pengelasan menggunakan pin/*tool joint* AISI 4340 yaitu nilai tegangan tariknya 177.57 Mpa. Dan nilai tegangan tarik paling rendah pada pengelasan menggunakan pin/*tool joint* AISI D2 yaitu 172.05. Hal ini menunjukkan sambungan menggunakan pin/*tool joint* AISI O1 mempunyai tegangan paling besar dibanding pengelasan menggunakan pin/*tool joint* yang lain. Hal ini dikarenakan sifat material yang dipengaruhi oleh perbedaan temperatur saat proses pengelasan sehingga terjadi perubahan sifat mekanik pada hasil sambungan material tersebut.

3.3 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 (%)	Daerah Patahan
AISI 4340	1	32	1.23	3.84	3.25	Stir zone
	2	32	0.74	2.31		Stir zone
	3	32	1.15	3.59		Stir zone
AISI O1	1	32	1.68	5.25	3.81	Stir zone
	2	32	0.88	2.75		Stir zone
	3	32	1.1	3.44		Stir zone
AISI D2	1	32	1.08	3.38	3.54	Stir zone
	2	32	1.05	3.28		Stir zone
	3	32	1.27	3.97		Stir zone
BM	1	32	3.4	10.63	11.57	-
	2	32	3.8	11.88		-
	3	32	3.9	12.19		-



Gambar 6. Histogram Perbandingan Regangan Hasil Pengujian Tarik FSW Dengan Variasi Bahan Pin.

Dilihat dari gambar 6 terlihat bahwa nilai regangan terbesar terdapat pada pengelasan menggunakan pin/*tool joint* baja AISI O1 yaitu sebesar 3.81%, kemudian nilai regangan terbesar selanjutnya pada pengelasan menggunakan pin/*tool joint* AISI D2 sebesar 3.54%. Dan nilai regangan yang paling rendah pada pengelasan menggunakan pin/*tool joint* AISI 4340 yaitu sebesar 3.25%.

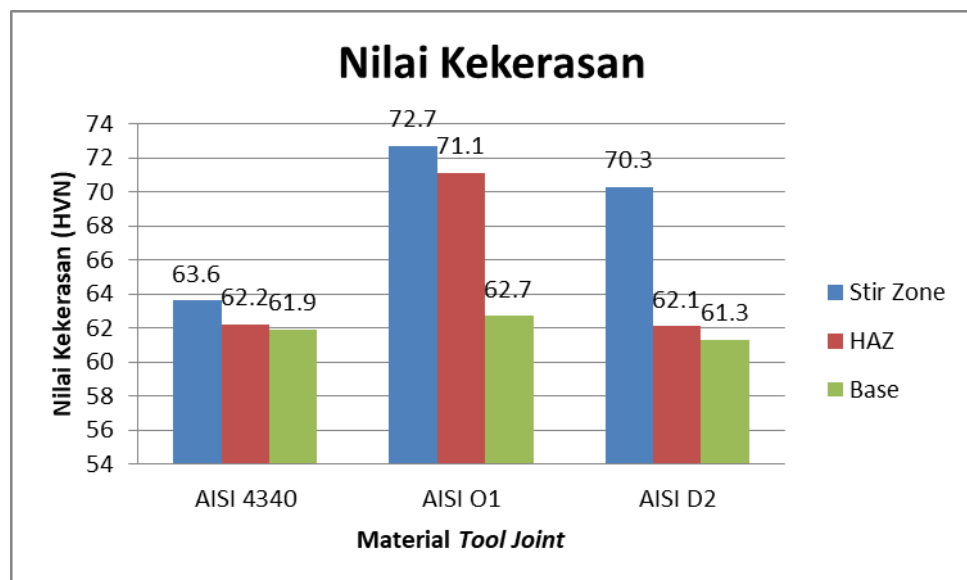
3.4 Data Hasil Pengujian Kekerasan

Pada hasil pengujian kekerasan dilakukan setiap spesimen pengelasan, pengujian kekerasan menggunakan uji kekerasan *Vickers Microhardness* dengan beban 0.25 kgf, waktu penekanan 15 detik.

Tabel 7. Data Nilai Kekerasan FSW Dengan Variasi Bahan Pin

No	<i>Tool joint</i>	Daerah	Nilai Kekerasan (HVN)	Rata-rata Nilai Kekerasan (HVN)
1	AISI 4340	<i>Stir Zone</i>	68	63.6
			62.7	
			60	
		<i>HAZ</i>	63.8	62.2
			61.9	
			61	
		<i>Base</i>	61.5	61.9
			64.2	
			59.8	
2	AISI O1	<i>Stir Zone</i>	79.8	72.7
			73	
			65.2	
		<i>HAZ</i>	72.7	71.1
			72	
			68.6	
		<i>Base</i>	69.3	62.7
			54.7	
			64	
3	AISI D2	<i>Stir Zone</i>	62.4	70.3
			71	
			77.5	
		<i>HAZ</i>	66.9	62.1
			58.8	
			60.7	

		Base	62.3	61.3
			63.2	
			59.4	



Gambar 7. Histogram Perbandingan Nilai Kekerasan FSW Dengan Variasi Bahan Pin

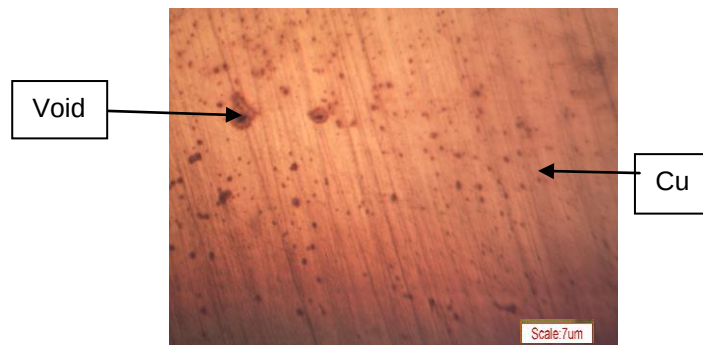
Hasil Pengujian Kekerasan, pada daerah *stir zone* mempunyai nilai kekerasan paling tinggi dibanding daerah lainnya. Hal ini disebabkan ukuran butiran pada daerah *stir zone* lebih halus dibandingkan daerah HAZ maupun *base metal*. Nilai kekerasan tertinggi yaitu 72.7 HVN pada daerah *stir zone* pada pengelasan menggunakan *tool joint* baja AISI O1. Kemudian nilai kekerasan paling tinggi yaitu 70.3 HVN pada daerah *stir zone* pengelasan menggunakan *tool joint* baja AISI D2 dan nilai kekerasan paling rendah pada daerah *stir zone* pengelasan menggunakan *tool joint* baja 4340 yaitu 63.6 HVN.

3.5 Foto 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*

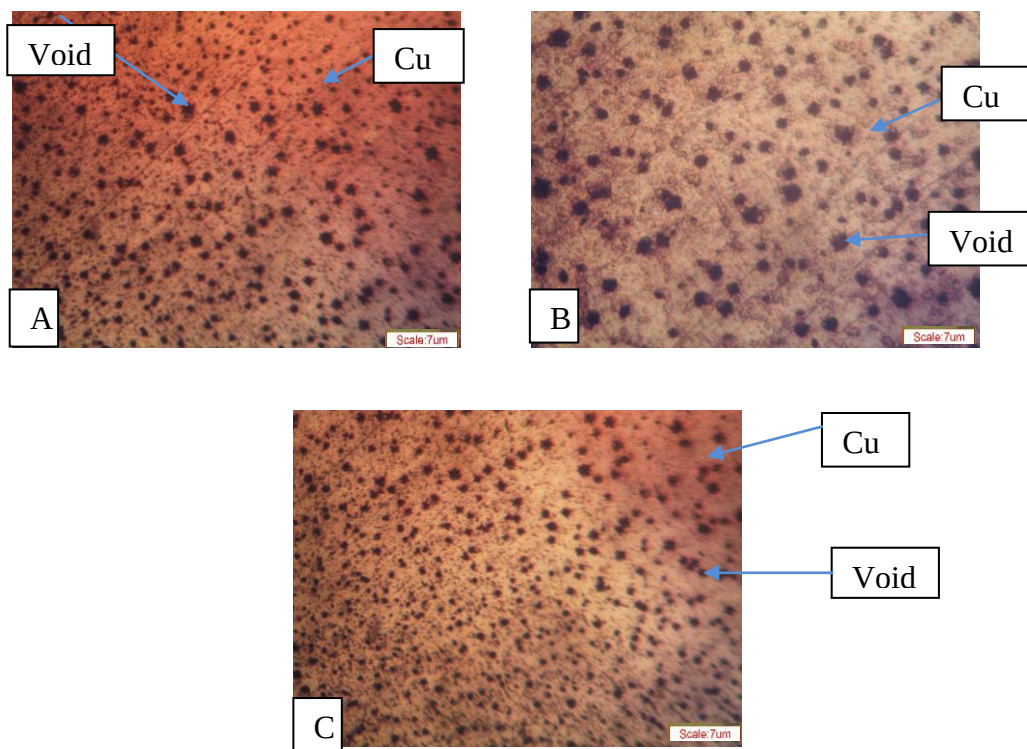
Base metal merupakan daerah yang tidak terpengaruh oleh panas pengelasan baik adukan maupun panas yang ditimbulkan.



Gambar 8. Struktur Mikro *Base Metal* Material tembaga

2) Daerah *Heat Affected Zone* (HAZ)

Daerah *Heat Affected Zone* (HAZ) merupakan logam yang bersebelahan dengan *stir zone*, selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat.

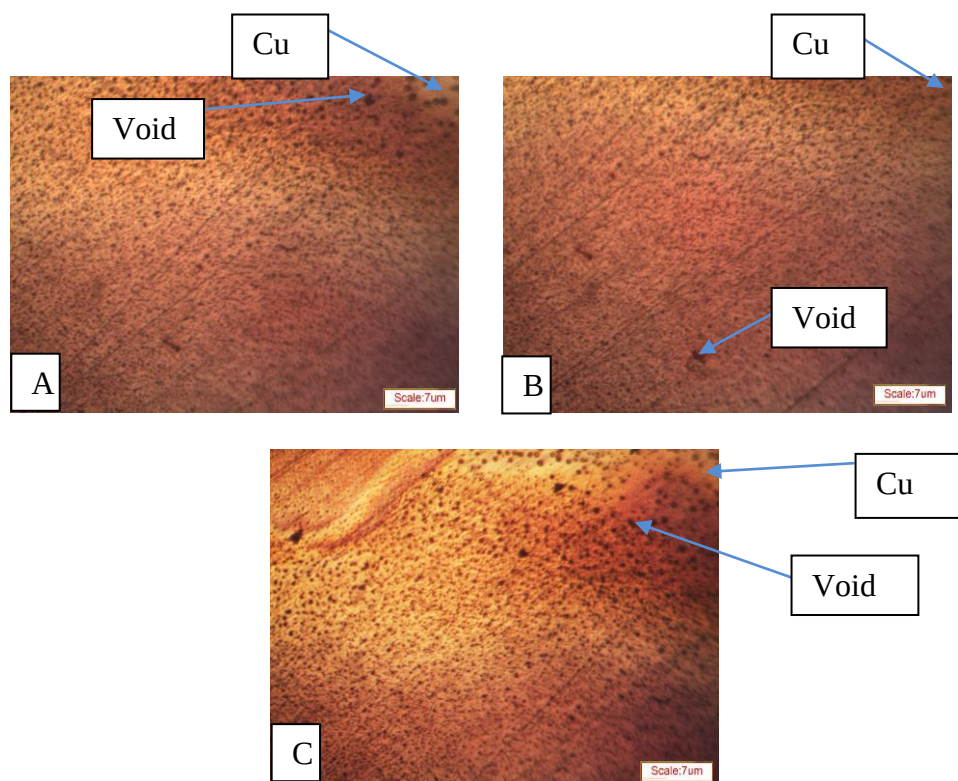


Gambar 9. Struktur Mikro Daerah *HAZ*, (A) Baja AISI 4340, (B) Baja AISI O1, (C) Baja AISI D2

Daerah *HAZ* terjadi perubahan bentuk struktur mikronya, Pada setiap daerah *HAZ* masing-masing bentuk strukturnya menjadi banyak dan rapat-rapat jika dibandingkan dengan base metal yang cenderung lebih renggang. Hal ini disebabkan oleh pengaruh panas saat proses pengadukan pin pada saat proses pengelasan berlangsung.

3) *Stir Zone*

Daerah *stir zone* merupakan daerah yang terkena panas dan yang terdeformasi saat pengadukan pin saat proses pengelasan berlangsung.



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

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*, hal ini disebabkan

adanya pengaruh temperatur yang tinggi oleh *pin tool* sebagai pengaduk dan *shoulder* sebagai *preheating* pada saat proses pengelasan

4) PENUTUP

4.1 Kesimpulan

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

- 1) Dari hasil pengujian tarik tarik pengelasan FSW beda bahan pin, diperoleh nilai tegangan tarik dan regangan paling tinggi pada pengelasan menggunakan *pin/tool joint* baja AISI O1 dengan nilai rata-rata tegangan tariknya yaitu 213.43 Mpa, dan untuk nilai regangan 3.81 %.
- 2) Hasil dari Dari hasil pengujian kekerasan pada daerah *stir zone*, nilai pengelasan menggunakan *pin/tool joint* baja AISI O1 mempunyai nilai kekerasan tertinggi yaitu 72.7 HVN. Nilai kekerasan paling rendah terdapat pada pengelasan menggunakan *pin/tool joint* baja 4340 dengan nilai kekerasan rata-rata 63.6 HVN.
- 3) Hasil foto struktur mikro pada pengelasan plat tembaga *Friction Stir Welding* beda material pin daerah *stir zone* dari semua hasil pengelasan mengalami perubahan ukuran butiran menjadi sangat kecil dan terlihat halus dibandingkan daerah *haz* maupun *base metal*.

4.2 Saran

Pada penelitian ini, bahwa masih banyak kekurangan. Oleh sebab itu penulis memberikan beberapa saran :

- 1) Mendalami dan mempelajari lebih banyak tentang FSW, dengan mencari referensi yang banyak tentang pengujian yang akan dilakukan.
- 2) Dalam menjalankan praktek waktu pengelasan alat dan bahan harus dipersiapkan dan membuat bahan cadangan yang lebih.
- 3) Pada saat proses mencekam benda kerja harus diperhatikan, material harus kencang karena material rawan bergeser.
- 4) Pemilihan kecepatan tool dan kecepatan pemakanan tool perlu diperhatikan dalam pengelasan FSW.

- 5) Dari hasil pengelasan bila perlu mengulangi lagi untuk mendapatkan hasil yang terbaik supaya mempermudah dalam mendapatkan data hasil pengujian yang akan dilakukan selanjutnya.

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, 2003, *Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Material*, ASTM E8M-04.
- American Society for Testing and Materials, 2011, *Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens*, ASTM E407.
- ASM International, 1998, *ASM Handbook Vol 15: Casting*. 9th Edition.
- 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.
- Hartanto, 2018, *Analisis Struktur Mikro Dan Kekuatan Penyambungan Plat (Cu-Cu) (Cu-CuZn) (Cu-Al) Menggunakan Metode Friction Stir Welding*, Tugas Akhir S-1, Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.
- Iqbal, M., Tarkono., Ibrahim, G.A., 2014, *Pengaruh Putaran dan Kecepatan Tool Terhadap Sifat Mekanik Pada Pengelasan Friction Stir Welding Aluminium 5052*, 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.
- Khodaverdizadeh, H, A., Heidarzadeh, T. Saeid *Effects of tool pin profile on microstructure and mechanical properties of friction stir welded pure copper joints*.
- Li Xia-Wei, Zhang Da-tong, QIU Cheng and ZHANG Wen., 2011, *Microstructure and mechanical properties of dissimilar pure copper/1350 aluminium alloy butt joints by friction stir welding*.
- 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
- Shen, J. J., H.J. Liu, F. Cui 2010, *Effect of welding speed on microstructure and mechanical properties of friction stir welding copper*.
- Surdia, T. dan Saito, S., 2005, *Pengetahuan Bahan Teknik*, Cetakan keenam. Jakarta, Pradya Paramita
- Wirjosumarto, H., Okumura, T., 2000, *Teknologi Pengelasan Logam*, Cetakan Ke-8, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Zhang , Q.Z ., Gong ,W.B., and Liu, w.,2014, *Microstructure and mechanical properties of dissimilar Al-Cu joints by friction stir welding*.