

**ANALISIS STRUKTUR MIKRO DAN KEKUATAN PADA
PENYAMBUNGAN PLAT (Cu-Cu) (Cu-CuZn) (Cu-Al)
MENGUNAKAN METODE *FRICTION STIR WELDING SINGLE
SIDE***



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

Oleh:

HARTANTO

D 200 120 112

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

2018

HALAMAN PERSETUJUAN

**ANALISIS STRUKTUR MIKRO DAN KEKUATAN PADA PENYAMBUNGAN
PLAT (Cu-Cu) (Cu-CuZn) (Cu-Al) MENGGUNAKAN METODE *FRICTION STIR
WELDING SINGLE SIDE***

PUBLIKASI ILMIAH

Oleh:

HARTANTO

D 200 120 112

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen Pembimbing



Ir. Bibit Sugito, M.T

HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISIS STRUKTUR MIKRO DAN KEKUATAN PADA PENYAMBUNGAN
PLAT (Cu-Cu) (Cu-CuZn) (Cu-Al) MENGGUNAKAN METODE *FRICTION STIR
WELDING SINGLE SIDE***

Oleh:

HARTANTO

D 200 120 112

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji

Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin

Universitas Muhammadiyah Surakarta

Pada hari Kamis, 27 September 2018

Dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dewan Penguji :

1. Ir. Bibit Sugito, M.T

(Ketua Dewan Penguji)

2. Ir. Sunardi Wiyono, M.T

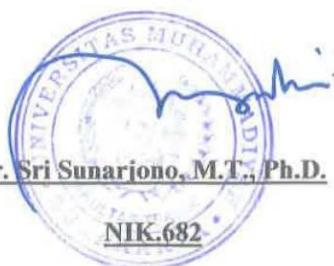
(Anggota I Dewan Penguji)

3. Agus Yulianto, ST., M.T

(Anggota II Dewan Penguji)



Dekan,


Ir. Sri Sunarjono, M.T., Ph.D.
NIK.682

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 pengetahuan saya juga tidak terdapat 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 di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 27 September 2018

Penulis



HARTANTO

D.200.120.112

ANALISIS STRUKTUR MIKRO DAN KEKUATAN PADA PENYAMBUNGAN PLAT (Cu-Cu) (Cu-CuZn) (Cu-Al) MENGGUNAKAN METODE *FRICTION STIR WELDING SINGLE SIDE*

ABSTRAK

Proses penyambungan logam dengan teknik pengelasan banyak diaplikasikan di industri transportasi seperti otomotif, perkapalan, kereta api dan pesawat terbang. Dalam perjalanannya sambungan las mengalami beberapa koreksi penyempurnaan dan hal ini dapat dicapai dengan perkembangan teknologi las yang pesat sekarang ini. Salah satu jenis proses las yang relatif baru adalah friction stir welding (FSW). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan sambungan las beda material yaitu antara tembaga dengan tembaga, tembaga dengan kuningan dan tembaga dengan aluminium pengujian dilakukan dengan cara uji Tarik, uji kekerasan vickers dan uji foto mikro pada hasil pengelasan.

Pengelasan pada penelitian ini menggunakan material aluminium, tembaga dan kuningan, sambungan menggunakan butt joint, parameter yang digunakan adalah kecepatan putar 1250 rpm, kecepatan pemakanan 12.5 mm/menit. Analisa dilakukan dengan melihat kekuatan sambungan, hasil pengelasan dibandingkan dengan pengelasan lainnya.

Hasil pengujian ini menunjukkan tegangan tarik maksimal pengelasan tembaga dengan kuningan yaitu sebesar 254.60 Mpa dan regangan maksimal material tembaga yaitu sebesar 11%. Pengujian kekerasan di daerah stir zone semuanya mengalami peningkatan nilai kekerasan dibandingkan daerah base metal dan HAZ. Pengujian struktur mikro pada daerah stir zone semua pengelasan terlihat ada pencampuran material dan mengalami pengecilan butiran karena pengaruh saat pengadukan tool joint pada saat proses pengelasan.

Kata Kunci: FSW, Beda Material, Sifat Mekanik, Struktur Mikro

ABSTRACT

The process of welding metal with welding techniques is widely applied in the transportation industry such as automotive, shipping, trains and aircraft. In the course of the welding joint undergoes some correction of refinement and this can be achieved with the rapid development of welding technology today. One type of welding process that is relatively new is friction stir welding (FSW). The aim of this research is to know the strength of the material welding joints between copper and copper, copper with brass and copper with aluminum testing done by Tensile test, vickers hardness test and micro photo test on welding result.

Welding in this research using aluminum, copper and brass material, connection using butt joint, the parameter used is 1250 rpm rotational speed, fastening speed 12.5 mm / minute. The analysis is done by looking at the strength of the connection, the welding results compared with other welding.

The results of this test shows the maximum tensile strength of copper welding with brass that is equal to 254.60 Mpa and a maximum strain of 11%. Violence testing in the zone zone all increased in value of violence compared to base metal and HAZ regions. Microstructure testing at the stir zone area of all the welding seen there is mixing of material and experience granular degradation due to the effect of stirring tool joint during welding process.

Keywords: FSW, Dissimilar Material, Mechanical Properties, Micro Structure

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi dibidang kontruksi semakin maju, baik di dalam perakitan maupun perawatan. Seiring kemajuan teknologi dalam bidang kontruksi manufaktur membuat pengelasan semakin dibutuhkan. Semakin luas penggunaan las dalam penyambungan yang mempengaruhi kebutuhan penggunaan teknologi las. Teknologi pengelasan terbagi dalam beberapa jenis. Salah satu jenis proses las yang relatif baru adalah *Friction Stir Welding* (FSW). FSW sendiri ditemukan oleh Wayne Thomas di *The Welding Institute* (TWI) pada tahun 1991 dan mendapat aplikasi paten pertama di *United Kingdom* pada bulan Desember 1991.

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, tidak terbentuk porositas, 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 (Esmaeili dkk, 2011).

Salah satu pemanfaatan teknologi FSW saat ini adalah untuk pengelasan sambungan logam yang berbeda jenis (*dissimilar*). Penyambungan logam yang berbeda, seperti aluminium dengan baja, aluminium dengan magnesium, aluminium dengan tembaga, dan baja dengan nikel, mampu memaksimalkan kemampuan terbaik yang dimiliki kedua material. Banyak penggunaan di pembangkit tenaga, kebutuhan militer, dan industri listrik yang mudah untuk menggabungkan material yang berbeda (*dissimilar*) dengan berbagai cara pengelasan lebur dan metode pengelasan padat, hal ini dilakukan untuk mengurangi berat, peningkatan ketahanan korosi, dan keuletan yang tinggi. *Solidification defects, intermetallic compound* dan penggunaan panas tinggi telah membuat prosedur peleburan (*fusion*) tidak atraktif untuk penggabungan material yang berbeda. Prosedur pengelasan FSW dapat menurunkan atau menghilangkan cacat yang disebabkan oleh pelelehan seperti, *porosity, residual thermal stresses* dan *impurities*, karena saat temperatur pengelasan dalam proses ini lebih rendah dari pada titik leleh logam dasar (Esmaeili dkk, 2011).

Penelitian ini akan ditujukan untuk mengetahui lebih jelas mengenai kekuatan sambungan las material sejenis dan beda jenis yaitu antara tembaga dan tembaga, dan tembaga dengan kuningan, tembaga dan aluminium. Penelitian ini akan diuji dengan menggunakan uji tarik, pengujian kekerasan, dan juga melihat struktur mikronya. Diharapkan dari proses FSW ini mendapatkan kesimpulan bagaimana pengaruh material yang disambung terhadap sifat mekanik dan struktur mikronya.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Mengetahui kekuatan tarik maksimal dan regangan hasil pengelasan *friction stir welding single side* beda material dengan melakukan pengujian tarik.
2. Mengetahui nilai kekerasan hasil pengelasan *friction stir welding single side* dengan melakukan pengujian kekerasan.
3. Mengetahui perubahan struktur mikro hasil pengelasan *friction stir welding single side*.
4. Membandingkan hasil dari sifat mekanik dan mikrostruktur antara pengelasan *friction stir welding single side* yang menggunakan 1 jenis material yang sama dengan 2 jenis material yang berbeda.

1.3 Tinjauan Pustaka

Dedi Triyoko (2016), Meneliti tentang sifat mekanik dan Struktur mikro pada sambungan las beda propertis alumunium seri 1100 dengan alumunium seri 6061-T6 menggunakan metode *Friction Stir Welding*. Menyimpulkan bahwa kekuatan sambungan pengelasan beda propertis 1100x6061-T6 lebih kuat dibanding dengan pengelasan material sejenis (pengelasan 1100x1100), terlihat dari hasil kekuatan tariknya dan lokasi patahan hasil pengujian tarik. Pengelasan beda propertis alumunium struktur mikronya mengalami pembesaran akibat panah yang dihasilkan lebih tinggi dibandingkan pengelasan material sejenis.

Li dkk (2011), meneliti tentang mikro struktur dan sifat mekanik *Friction Stir Welding* hasil penyambungan material tembaga murni dengan material alumunium seri 1350. hasil penelitian menyatakan struktur mikro yang rumit terbentuk di area Stir Zone, dimana pola seperti vortex dan struktur campuran dapat ditemukan. Distribusi kekerasan menunjukkan bahwa kekerasan Stir Zone di sisi tembaga lebih tinggi dari pada sisi paduan aluminium. Tegangan dan regangan hasil uji tarik lasan masing-masing adalah 152 MPa dan 6,3%. Pengamatan permukaan patahan hasil uji tarik menunjukkan sambungan pengelasan menunjukkan ulet tetapi rapuh.

Zhang dkk (2014) ,melakukan studi struktur mikro dan sifat mekanik hasil pengelasan *Friction Stir Welding* beda material antara alumunium seri 1060 dengan tembaga murni, dimana dilakukan penelitian dengan menggunakan parameter rpm 1050/menit, kecepatan pemakanan 30mm/menit, sudut kemiringan pin 2,5°. Hasil penelitian menyatakan bahwa kedua material dapat menyatu tetapi hasil sambunganya kurang baik, terdapat cacat lubang di dalamnya sehingga dapat mempengaruhi hasil uji

tarik. Nilai kekerasan di area *Stir Zone* lebih tinggi dibandingkan *Base metal* karena kerapatan dislokasi tinggi selama deformasi plastik yang dihasilkan pengelasan *Friction Stir Welding*.

2. METODE

2.1 Alat Penelitian

Alat Pengelasan : Mesin Milling dan *Tool Joint*

Alat Bantu : Mesin potong, gergaji, amplas, cekam, jangka sorong, cekam, mistar, spidol, cairan etsa, resin dan katalis.

Alat pengujian : *Universal testing machine, micro hardness vikersr, mikroskop micro.*

2.2 Bahan Penelitian

Material : Tembaga, Kuningan, Aluminium

Tool Joint : Baja VCN

2.3 Tempat Penelitian

Tempat Penelitian : Laboratorium Proses Produksi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta, Laboratorium Balai Besar Latihan Kerja Industri Surakarta (BBLKI), laboratorium Solo Technopark, laboratorium Terpadu Universitas Diponegoro.

2.4 Proses Penelitian

a. Persiapan

Melakukan persiapan dengan membuat ataupun meminjam alat yang akan digunakan pada saat proses penelitian, yaitu : pengecam material, *tool joint* dan mesin *milling* serta alat penunjangnya. Membeli material yang akan digunakan saat penelitian yaitu : material aluminium, tembaga dan kuningan.

b. Pengelasan

Proses penelitian menggunakan parameter yang sudah ditentukan, sebagai berikut :

Parameter pengelasan

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

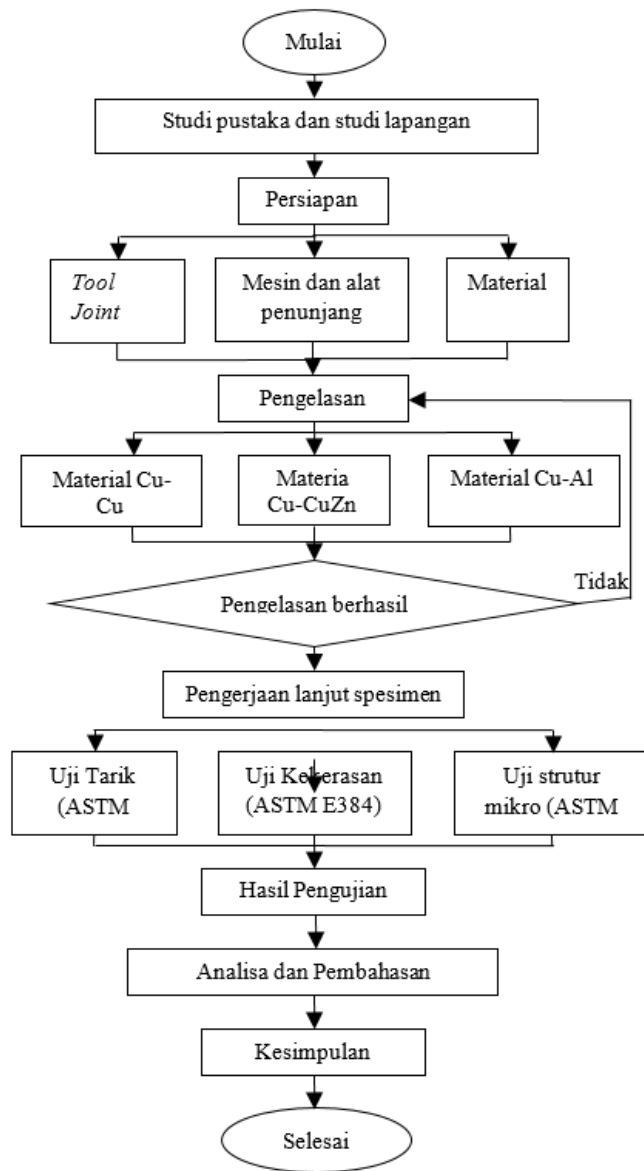
c. Pengerjaan lanjut spesimen

Hasil pengelasan dibuat sesuai dengan standar yang digunakan, yaitu :

- Pengujian tarik menggunakan standar ASTM E8M.
- Pengujian kekerasan menggunakan standar ASTM E384
- Pengujian foto mikro menggunakan standar ASTM E3

- d. Melakukan pengujian dengan menggunakan standar yang sudah ditentukan.
- e. Hasil pengujian mengambil data serta mencatatnya untuk dilakukan proses analisa dan pembahasan lebih lanjut.

2.5 Diagram Alir Penelitian



Gambar 1 Diagram alir penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengelasan FSW



Gambar 2 Hasil pengelasan (A) pengelasan Cu-Cu (B) pengelasan Cu-CuZn (C) pengelasan Al-Cu

3.2 Hasil Pengujian Tarik

Hasil pengujian tarik berupa data yang dapat dilihat pada tabel sebagai berikut :

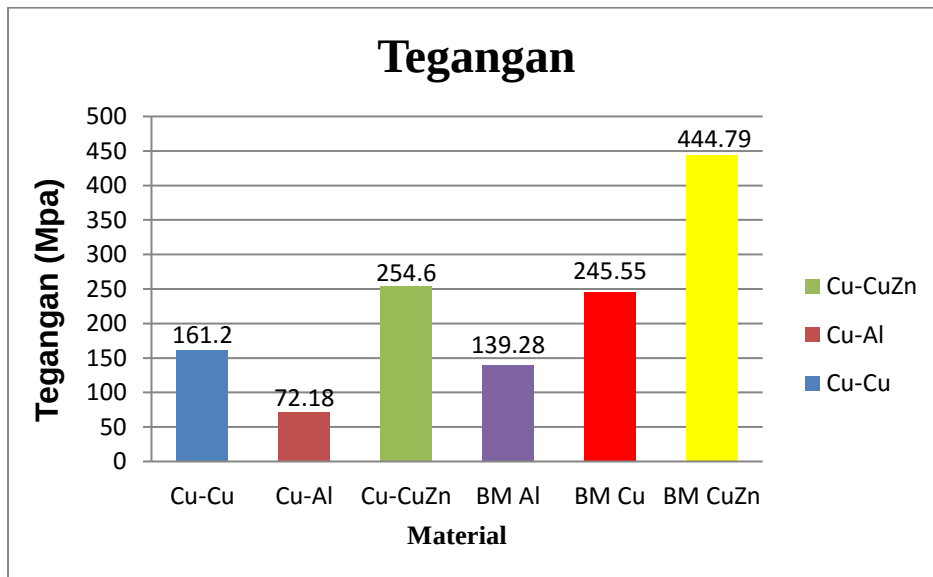
Tabel 1 Tegangan Hasil Uji Tarik

Material	A_0 (mm ²)	Maximum Load (N)		Ultimate tensile Streng σ (MPa)		rata rata (MPa)	Batas Patahan
		σ_1	σ_2	σ_1	σ_2		
Cu-Cu	9.6	2073.79	1021.2	216.02	106.38	161.20	<i>Stir zone</i>
Cu-Al	9.6	688.98	696.8	71.77	72.58	72.18	<i>Stir zone</i>
Cu- CuZn	9.6	2520.73	2367.57	262.58	246.62	254.60	<i>Base metal</i>
BM Al	9.6	1409.03	1265.17	146.77	131.79	139.28	-
BM Cu	9.6	2221.17	2493.4	231.37	259.73	245.55	-
BM CuZn	9.6	3962.33	4577.64	412.74	476.84	444.79	-

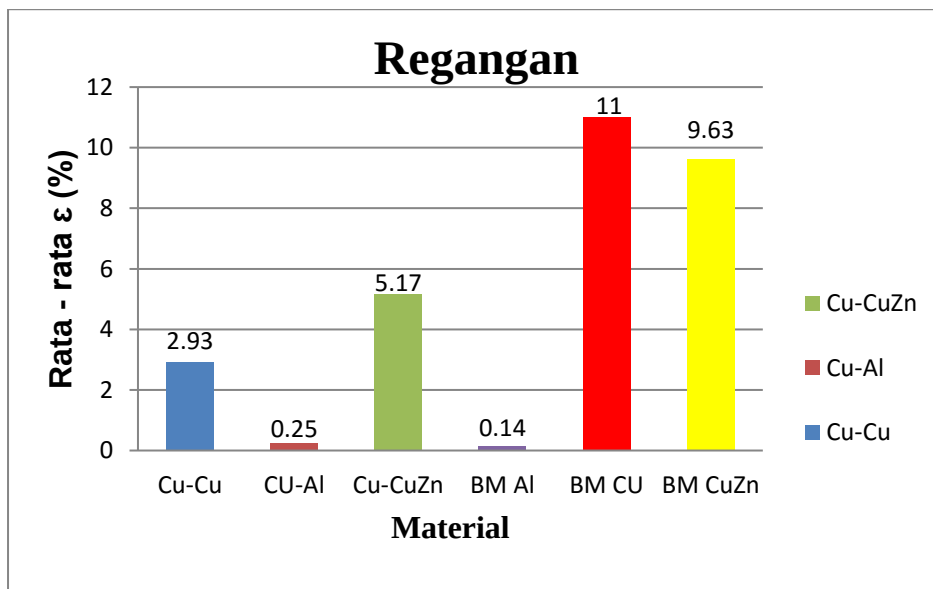
Tabel 2 Regangan Hasil Uji Tarik

Material	L_0 (mm)	Regangan (%)		ΔL (mm)		Rata rata ϵ (%)	Batas Patahan
		ϵ_1	ϵ_2	ϵ_1	ϵ_2		
Cu-Cu	32	5.65	0.21	1.81	0.07	2.93	<i>Stir zone</i>
Cu-AL	32	0.21	0.29	0.07	0.09	0.25	<i>Stir zone</i>
Cu-CuZn	32	5.36	4.97	1.72	1.59	5.17	<i>Base metal</i>
BM Al	32	0.57	0.39	0.18	0.12	0.48	-
BM Cu	32	9.96	12.03	3.19	3.85	11.00	-
BM CuZn	32	8.15	11.23	2.61	3.59	9.69	-

Dari table diatas, dibuat Histogram agar lebih mudah dalam menganalisa, berikut adalah Histogram tegangan dan regangan dari hasil pengujian tarik pengelasan *single side friction stir welding*.



Gambar 3 Histogram Spesimen Material Terhadap Tegangan



Gambar 4 Histogram Spesimen Material Terhadap Regangan

Dilihat dari tabel dan histogram hasil pengelasan *single side friction stir welding* dari hasil pengelasan material Cu-Cu mempunyai tegangan tarik rata-rata 161.20 MPa dan regangan rata-rata 2.93%. Pada pengelasan material Cu-CuZn mempunyai tegangan tarik rata-rata 254.60 MPa dan regangan rata-rata 5.17%. Pada pengelasan material Cu-Al mempunyai tegangan tarik rata-rata 72.18 MPa dan regangan rata-rata 0.25%. Sedangkan pada *base metal* Cu mempunyai tegangan tarik rata-rata 245.55 MPa dan regangan rata-rata 11%. Pada *base metal* CuZn mempunyai tegangan tarik rata-rata 444.79 MPa dan regangan rata-rata 9.63%. Pada *base metal* Al mempunyai tegangan tarik rata-rata 139.28 MPa dan regangan rata-rata 0.14%.

Dari hasil pengujian tarik menunjukkan perbedaan tegangan tarik diantara spesimen. Pada pengelasan material Cu-CuZn mempunyai tegangan tarik rata-rata paling tinggi yaitu 254.60 MPa, dan tegangan tarik rata-rata paling rendah terjadi pada spesimen Cu-Al yaitu 72.18 Mpa. Dikarenakan hal ini terjadi karena sifat mekanik material yang dipengaruhi oleh perbedaan temperatur saat proses pengelasan berlangsung sehingga terjadi perubahan sifat mekanik pada hasil sambungan material.

Dari keseluruhan pengujian yang dilakukan patah yang terjadi pada spesimen bagian sambungan las atau daerah pengelasan (*stir zone*) tetapi ada yang patah pada daerah *base metal*. Patah dibagian *base metal* terjadi pada spesimen Cu-CuZn pada bagian tembaga. Sedangkan pada spesimen Cu-Cu dan Cu-Al patahan terjadi pada daerah pengelasan.

3.3 Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian kekeraasan dilakukan di Laboratoium Universitas Diponegoro (UNDIP). Pengujian kekerasan termasuk pengujian terhadap sifat mekanik, Secara umum kekerasan adalah ketahanan suatu material terhadap deformasi plastis. Pada penelitian ini digunakan pengujian kekerasan *Vickers* menggunakan indentor intan berbentuk piramida dengan menggunakan parameter pengujian sebagai berikut :

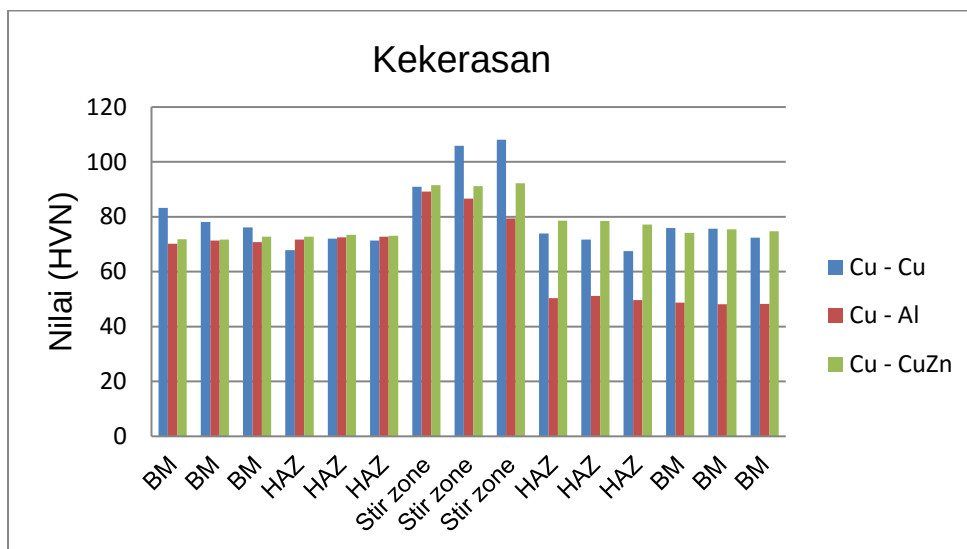
- Beban yang digunakan sebesar 200 gf
- Waktu tahan selama 10 detik
- Jarak tiap titik uji 1 mm

Tabel 3 Data hasil pengujian Vickers (HVN)

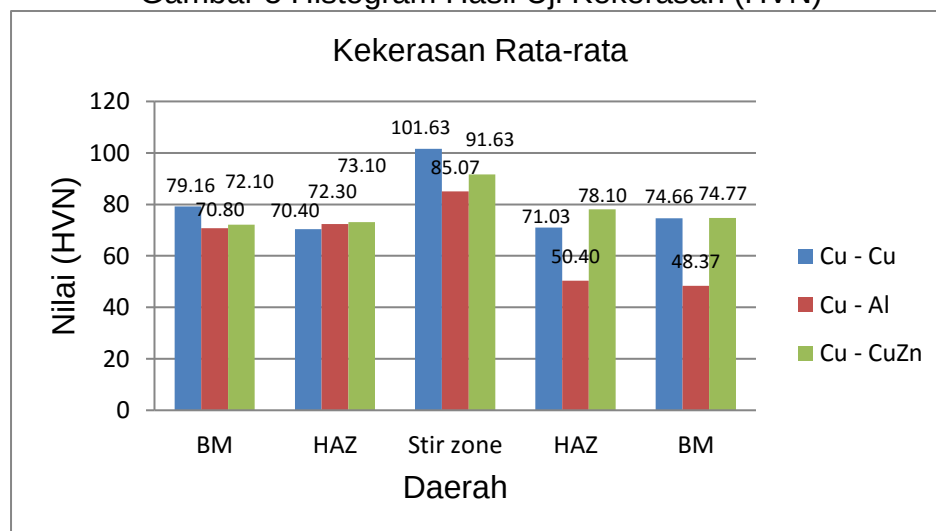
Nilai	Kekerasan (HVN)		
Daerah	Pengelasan		
	Cu - Cu	Cu - Al	Cu - CuZn
<i>BM</i>	83.3	70.2	71.8
<i>BM</i>	78.1	71.4	71.7
<i>BM</i>	76.08	70.8	72.8
<i>HAZ</i>	67.8	71.7	72.7
<i>HAZ</i>	72.1	72.5	73.5
<i>HAZ</i>	71.3	72.7	73.1
<i>Stir zone</i>	90.9	89.2	91.5
<i>Stir zone</i>	105.9	86.6	91.2
<i>Stir zone</i>	108.1	79.4	92.2
<i>HAZ</i>	73.9	50.4	78.6
<i>HAZ</i>	71.7	51.2	78.5
<i>HAZ</i>	67.5	49.6	77.2
<i>BM</i>	75.86	48.7	74.2
<i>BM</i>	75.72	48.1	75.4
<i>BM</i>	72.4	48.3	74.7

Tabel 4 Data Rata-rata Hasil Pengujian Kekerasan (HVN)

Spesimen	Nilai HVN Rata-rata				
	<i>BM</i>	<i>HAZ</i>	<i>Stir zone</i>	<i>HAZ</i>	<i>BM</i>
Cu - Cu	79.16	70.4	101.63	71.03	74.66
Cu - Al	70.80	72.30	85.07	50.40	48.37
Cu - CuZn	72.10	73.10	91.63	78.10	74.77



Gambar 5 Histogram Hasil Uji Kekerasan (HVN)



Gambar 6 Histogram Rata-rata Hasil Uji Kekerasan (HVN)

Dari data dan histogram diatas proses pengelasan menunjukan profil distribusi kekerasan pada pengujian *vickers* ditunjukkan pada grafik. Dari rata-rata hasil uji kekerasan menunjukkan hasil dimana pada daerah *stir zone* semua mempunyai nilai kekerasan yang paling tinggi dibanding daerah lainnya yaitu daerah *HAZ* dan logam induk (*Base Metal*). Pada spesimen Cu-Cu mengalami sedikit penurunan kekerasan dari *base metal* ke daerah *HAZ* hal ini karena pada material mengalami pelunakan yang dipengaruhi oleh panas dari proses

pengelasan, dapat dilihat dari hasil foto mikro ukuran butiran terlihat lebih besar dari butiran *base metal*, karena semakin kecil ukuran butiran semakin besar nilai kekerasan dan sebaliknya.

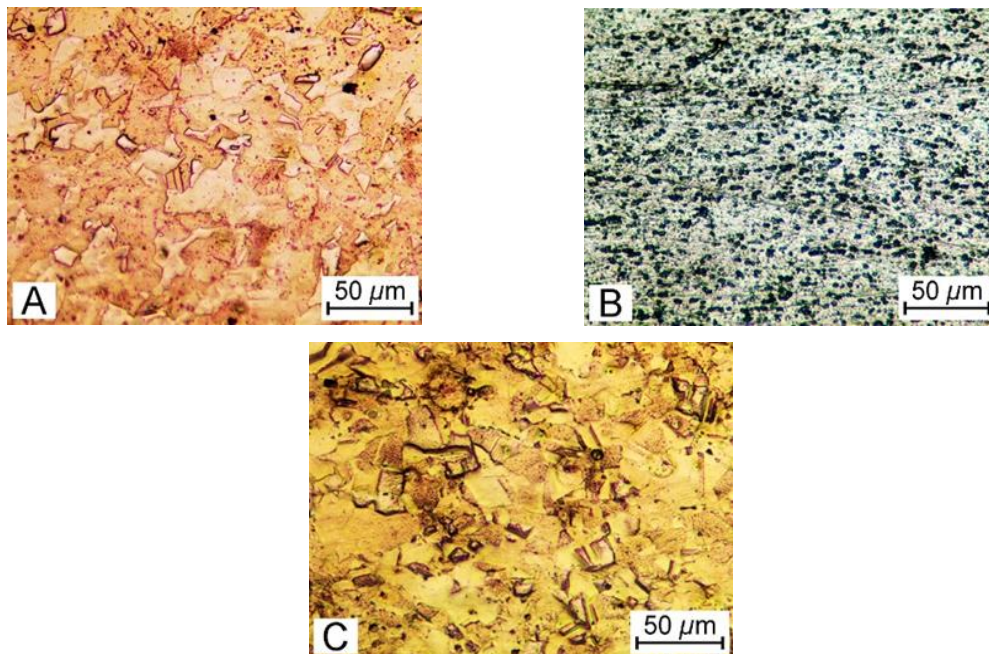
Nilai kekerasan paling tinggi terdapat pada pengelasan Cu-Cu dengan nilai kekerasan rata-rata 101.63 HVN pada daerah *stir zone*. Nilai kekerasan paling rendah terdapat pada material aluminium dengan nilai kekerasan rata-rata 48.37 HVN pada daerah *base metal*.

3.4 Hasil Pengujian dan Pembahasan Strukur Mikro

Pengujian struktur mikro dilakukan di Laboratorium Universitas Muhammadiyah Surakarta (UMS). Pengujian struktur mikro ini dilakukan untuk mengamati perubahan struktur mikro pada material hasil pengelasan karena pengaruh panas yang terjadi pada saat proses pengelasan *friction stir welding*. Pengamatan yang dilakukan meliputi daerah *base metal*, *haz*, dan *stir zone*.

Struktur Mikro

1. *Base Metal*

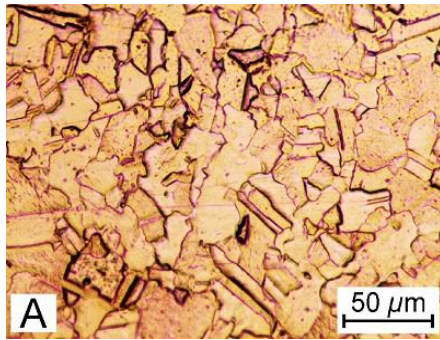


Gambar 7 Struktur Mikro *Base Metal* Material (A) tembaga, (B) Aluminium, (C) Kuningan

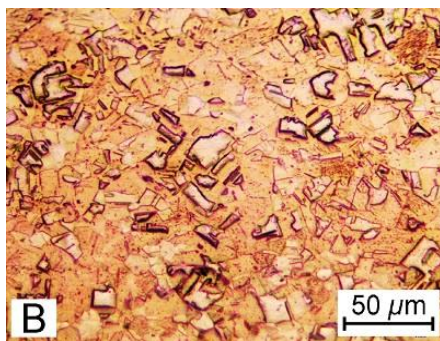
Base metal merupakan daerah yang tidak terpengaruh oleh panas pengelasan baik adukan maupun panas yang ditimbulkan.

Pada gambar 4.9 merupakan gambar *base metal* yang di ambil dari pengujian mikrostruktur, menurut *ASM Handbook Metallography and Microstructures* (Vol 9) pada gambar (A) dan (C) *base metal* tembaga dan kuningan partikel hitam dan butiran persegi adalah Cu_2O , sedangkan pada gambar (B) *base metal* aluminium, partikel hitam merata adalah FeAl_3 .

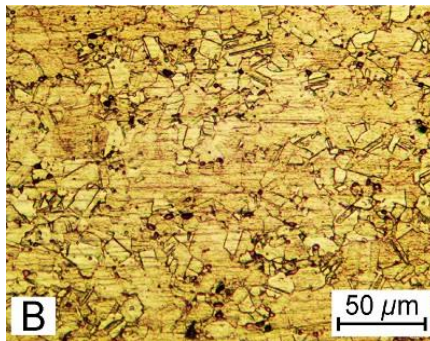
2. Daerah HAZ



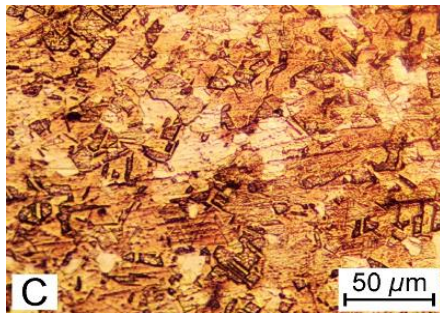
HAZ Tembaga (Cu-Cu)



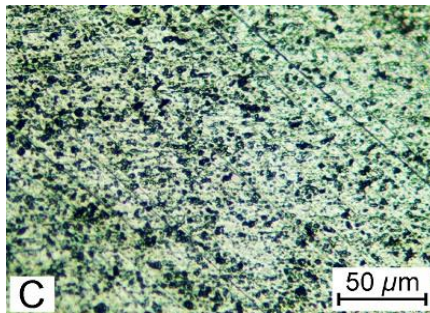
HAZ Tembaga (Cu-CuZn)



HAZ Kuningan (Cu-CuZn)



HAZ Tembaga (Cu-Al)



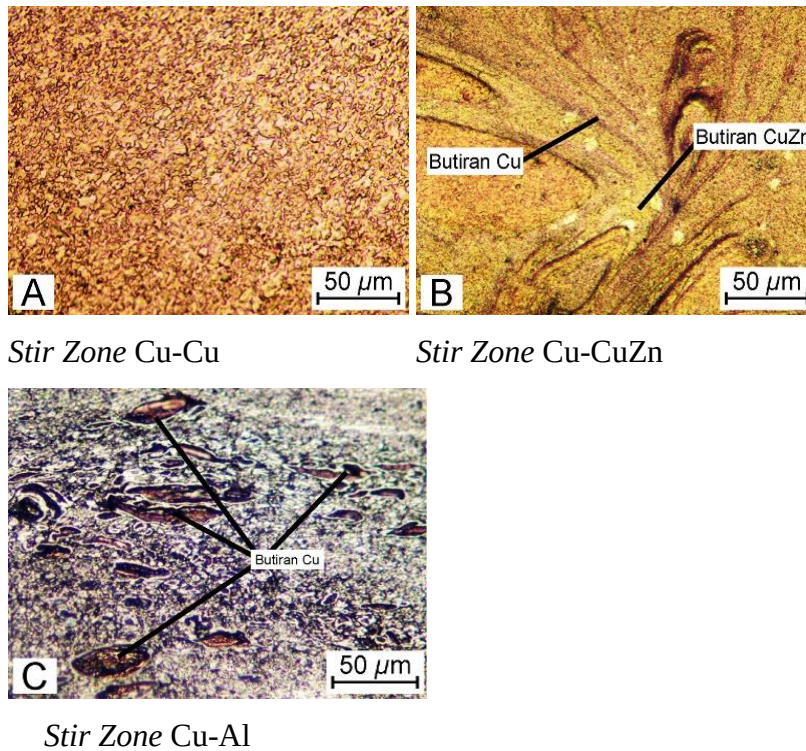
HAZ Aluminium (Cu-Al)

Gambar 8 Struktur Mikro Daerah HAZ, (A) Tembaga, (B) Tembaga dan kuningan, (C) Tembaga dan Aluminium

Daerah HAZ merupakan daerah yang mengalami siklus termal tetapi tidak mengalami deformasi plastis, pada daerah ini juga terjadi perubahan struktur mikro. Daerah HAZ akan terjadi perubahan ukuran butir, dimana ukurannya dipengaruhi oleh karakteristik material, temperatur, proses pengelasan serta laju pendinginan.

Pada gambar 4.10 ukuran butiran HAZ pengelasan Cu-Cu mengalami sedikit perubahan ukuran butiran semakin besar dibandingkan dengan *base metal* material Cu. Sedangkan pada pengelasan Cu-CuZn dan Cu-Al daerah HAZ ukuran struktur butir tembaga lebih kecil dibandingkan dengan ukuran butiran pada daerah *base metal*.

3. Stir Zone



Gambar 9 Struktur Mikro Daerah *Stir Zone*, (A) Pengelasan Cu-Cu, (B) Pengelasan Cu-CuZn, (C) Pengelasan Cu-Al

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 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*, dan juga pada pengelasan beda material (Cu-CuZn dan Cu-Al) terlihat percampuran material, 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, diperoleh nilai tegangan paling tinggi pada pengelasan Cu-CuZn dengan nilai rata-rata yaitu 254.60 Mpa dan nilai regangan paling tinggi pada *Base Metal* Cu dengan nilai regangan 11 %.
2. Dari hasil pengujian kekerasan, nilai kekerasan paling tinggi terdapat pada pengelasan Cu-Cu dengan nilai kekerasan rata-rata 101.63 HVN pada daerah *stir zone*. Nilai kekerasan paling rendah terdapat pada *base metal* material aluminium dengan nilai kekerasan rata-rata 48.37 HVN.

3. Hasil foto struktur mikro pada pengelasan Cu-CuZn dan Cu-Al daerah *stir zone* terlihat adanya pencampuran material dan ukuran butiran lebih kecil dibandingkan daerah HAZ maupun *base metal*. Pada pengelasan Cu-Cu, daerah *stir zone* ukuran butir menjadi kecil dan terlihat halus.
4. Dari pengamatan hasil uji mekanis dan uji fisis (struktur mikro), dari hasil pengelasan Cu-Cu, Cu-CuZn dan Cu-Al, pengelasan Cu-CuZn mendapatkan hasil yang paling baik, karena mempunyai kekuatan tarik paling tinggi, terlihat dari patahan yang terjadi pada daerah *base metal* Cu, ini menandakan daerah *stir zone* hasil dari pengelasan lebih tinggi sehingga patah pada bagian yang paling rendah. Dan terbukti pada hasil foto struktur mikro daerah *stir zone* terlihat pencampuran antara kedua material dengan ukuran butir terlihat sangat kecil dan halus dengan nilai kekerasan juga mengalami peningkatan dari *base metal*, HAZ sampai *stir zone*.

4.2 SARAN

Pada penelitian ini, bahwa masih banyak terdapat kekurangan. Oleh sebab itu penulis memberikan beberapasaran :

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. Untuk *pin tool* yang digunakan lebih baik dilakukan *treatment* terlebih dahulu karena akan meningkatkan nilai kekerasan pada permukaan *pin tool* itu sendiri.
4. Selalu mensetting jalur pengelasan terlebih dahulu sebelum melakukan pengelasan untuk memastikan *tool pin* sesuai jalur pengelasan.
5. Dari hasil pengelasan bila perlu mengulangi lagi untuk mendapatkan hasil yang terbaik supaya mempermudah dalam mendapatkan data hasil pengujian yang akan dilakukan selanjutnya.
6. Mematuhi aturan pada laboratorium dan K3

DAFTAR PUSTAKA

- 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, 2002, *Standard Test Methods for Microindentation Hardness of Material*, ASTM, E384-99.
- American Society for Testing and Materials, 2001, *Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens*, ASTM, E3-01.

- ASM Handbook Vol 9, 2004, *Metallography And Microstructure*, ASM International.
- Amini ,A., Asadi,P.,Zolghadr,P., and Noor,P.,2014, *Friction Stir Welding in Industry*, University of Tehran,Iran.
- Esmaeili, A., Givi, M.K. Besharati., Rajani, H.R. Zareie., 2011, *A Metallurgical and Mechanical Study on Dissimilar Friction Stir welding of Aluminum 1050 to Brass (CuZn30)*.
- ESAB, *Friciton Stir Welding Technical Handbook*, www.esab.com
- Ghoghery, M., Asgarani., Amini Kamran.,2017 *Friction Stir Welding of Dissimilar Joints Between Commercially Pure Titanium Alloy and 7075 Alumunium Alloy*
- Kalpajian, S. dan Schmid, S.R. 2009. *Manufacturing Engineering and Technology*. Sixth Edition, Pentice Hall, New York
- LI Xia-wei, ZHANG Da-tong, QIU Cheng and ZHANG Wen., 2011, *Microstructure and mechanical properties of dissimilar pure copper/1350 aluminum alloy butt joints by friction stir welding*.
- Mishra, R.S., Ma, Y.z, 2005, *Friction Stir Welding And Processing Materials Science and Engineering*, R 50: 1–78.
- Rajakumar, S., dan Balasubramanian, V., 2012, *Correlation between weld nugget grain size, weld nugget hardness and tensile strength of friction stir welded commercial grade aluminium alloy joints*. Materials and Design 34: 242–251.
- Scoot , D.A., 1991, *Hand Book Metalography and Microstructures* ,Tien Wah Press, Ltd,Singapore.
- Surdia, T. dan Saito, S. 2005. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Cetakan keenam. Jakarta. Pradya Paramita
- Triatmoko, D., 2016, “*Analisa sifat mekanik dan struktur mikro pada sambungan las beda propertis alumunium dengan metode friction stir welding*” Tugas Akhir S-1, Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.
- WiryoSumarto, H., Okumura, T., 1994,*Teknologi Pengelasan Logam*, Cetakan Ke-6, 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*.