

**ANALISIS SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO PADA
PENYAMBUNGAN PLAT BEDA MATERIAL (Al-Al) (Al-Cu)
(Al-CuZn) MENGGUNAKAN METODE *FRICTION STIR*
*WELDING***



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

Oleh:

RAFLY HAFID SANDINARTO

D200 110 029

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

2018

HALAMAN PERSETUJUAN

**ANALISIS SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO PADA PENYAMBUNGAN
PLAT BEDA MATERIAL (Al-Al) (Al-Cu) (Al-CuZn) MENGGUNAKAN
METODE *FRICTION STIR WELDING***

PUBLIKASI ILMIAH

Oleh :

RAFLY HAFID SANDINARTO

D 200 110 029

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh :

Dosen Pembimbing



Ir. Bibit Sugito, MT.

HALAMAN PENGESAHAN
ANALISIS SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO PADA PENYAMBUNGAN
PLAT BEDA MATERIAL (Al-Al) (Al-Cu) (Al-CuZn) MENGGUNAKAN
METODE *FRICTION STIR WELDING*

Oleh :

RAFLY HAFID SANDINARTO

D 200 110 029

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji

Fakultas Teknik

Universitas Muhammadiyah Surakarta

Pada hari Selasa, 28 Agustus 2018

Dan dinyatakan memenuhi syarat

Dewan Penguji :

1. Ir.Bibit Sugito.,M.T
(Ketua Dewan Penguji)
2. Supriyono, ST, MT, Ph.D.
(Anggota I Dewan Penguji)
3. Joko Sedyono, ST,M.Eng, Ph.D.
(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 atau ketidakbenaran dalam pernyataan saya diatas maka akan saya pertanggung jawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 28 Agustus 2018

Penulis



RAFLY HAFID SANDINARTO

D.200.11.0029

ANALISIS SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO PADA PENYAMBUNGAN PLAT BEDA MATERIAL (Al-Al) (Al-Cu) (Al- CuZn) MENGGUNAKAN METODE *FRICTION STIR WELDING*

Abstrak

Friction Stir Welding (FSW) adalah sebuah metode pengelasan gesek, yang pada prosesnya tidak memerlukan bahan penambah atau pengisi. Panas yang digunakan untuk melunakkan logam kerja dihasilkan dari gesekan antara benda yang berputar (*pin*) dengan benda yang diam (benda kerja). Tujuan dari penelitian ini adalah agar dapat mengetahui mikrostruktur dan kekuatan sambungan las beda material dengan melakukan pengujian Struktur mikro, Uji Kekerasan Vickers, dan Uji tarik pada hasil pengelasan FSW. Material yang digunakan adalah plat Alumunium seri 1100 dan plat Tembaga, Kuningan, Parameter yang digunakan adalah kecepatan putar spindle 1250 rpm, kecepatan pemakanan 12,5 mm/menit. Hasil Pengelasan dianalisa dengan menggunakan standar ASTM E3 untuk struktur mikro, ASTM E384 untuk kekerasan, dan ASTM E8M untuk uji tarik. Hasil dari penelitian pada struktur mikro menunjukkan adanya percampuran kedua logam didaerah stir zone, terlihat butiran semakin kecil dan rapat. Untuk hasil kekerasannya mengalami peningkatan kekerasan yg cukup signifikan, nilai kekerasan tertinggi terjadi pada pengelasan Al-Cu dengan nilai 91.40 HVN. Pada hasil kekuatan tariknya menunjukkan tegangan tarik maksimal pada pengelasan Al-Cu sebesar 72.18 MPa dan regangan maksimal terjadi pada pengelasan Al-CuZn sebesar 0.22%.

Kata kunci : *Friction Stir Welding*, Struktur Mikro, Sifat Mekanik

Abstract

Friction Stir Welding (FSW) is a friction welding method, which in the process does not require any adder or filler material. The heat used to soften the metal works from friction between a rotating object (*pin*) with a stationary object (workpiece). The purpose of this research is to know microstructure and strength of different material welding joint by doing micro testing, Vickers Hardness Test, and Tensile Test on FSW welding. The materials used are 1100 Series Aluminum plate and Copper plate, Brass, Parameter which is 1250 rpm spindle speed, feed speed 12,5 mm / minute. Welding results are analyzed by comparing the connection between materials with different materials, using ASTM E3 standards for microstructure, ASTM E384 for hardness, and ASTM E8M for tensile tests. Results from studies on microstructure conditions occur in the stir zone, visible but smaller and denser. For a significant increase in speed, the highest value occurred in Al-Cu welding with a value of 91.40 HVN. At its tensile strength, the maximum tensile appearance in Al-Cu welding is 72,18 Mpa and maximum strain occurs in Al-CuZn welding 0,22%.

Keywords: Friction Stir Welding, Micro Structure, Mechanical Properties

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Friction Stir Welding (FSW) adalah sebuah metode pengelasan gesek, yang pada prosesnya tidak memerlukan bahan penambah atau pengisi. Panas yang digunakan untuk melunakkan logam kerja dihasilkan dari gesekan antara benda yang berputar (*pin*) dengan benda yang diam (benda kerja). merupakan salah satu metode penyambungan logam yang saat ini banyak diaplikasikan di industri manufaktur seperti otomotif, kereta api, perkapalan, dan pesawat terbang. Semakin luas penggunaan las mempengaruhi kebutuhan penggunaan teknologi las. Banyak industri manufaktur yang mengembangkan teknik-teknik pengelasan. Salah satu teknik pengelasan yang relatif baru adalah *Friction Stir Welding* (FSW), yaitu proses penyambungan logam dengan memanfaatkan energi panas yang dihasilkan dari gesekan antara *tool* dan benda kerja yang akan disambung. Penyambungan ini terjadi karena pengadukan dua sisi potongan logam yang mulai melunak akibat gesekan. FSW (*Friction Stir Welding*) ditemukan dan dikembangkan oleh Wayne Thomas pada tahun 1991 di TWI (The Welding Institute) Amerika Serikat.

Secara umum FSW memiliki beberapa keuntungan dibanding las konvensional. Keuntungan FSW antara lain 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). Dari semua keunggulan yang dipaparkan, FSW sangat sesuai diaplikasikan untuk menyambung material aluminium ataupun menyambung material yang berbeda jenis. 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. Untuk pengelasan *Friction Stir Welding* perbedaan jenis material antara aluminium, tembaga, dan kuningan umumnya masih jarang dilakukan sehingga perlu dilakukan penelitian lebih luas lagi. Dalam hal ini akan dilakukan penelitian tentang *Friction Stir Welding* antara aluminium, tembaga, dan kuningan. Diharapkan dari proses FSW ini didapat kesimpulan bagaimana

pengaruh dua jenis material yang berbeda disambung menjadi satu terhadap sifat mekanik dan struktur mikronya.

1.2 Tujuan Penelitian

- 1.2.1 Mengetahui perubahan struktur mikro hasil pengelasan *Friction Stir Welding* beda material
- 1.2.2 Mengetahui perbandingan nilai kekerasan hasil pengelasan *Friction Stir Welding* beda material dengan melakukan pengujian kekerasan
- 1.2.3 Mengetahui perbandingan kekuatan tarik maksimal dan regangan hasil pengelasan *Friction Stir Welding* beda material dengan melakukan pengujian tarik
- 1.2.4 Membandingkan sifat mekanik dan struktur mikro pengelasan *Friction Stir Welding* menggunakan 1 jenis material yang sama dengan 2 jenis material yang berbeda

1.3 Tinjauan Pustaka

Jarot Wijayanto dan Aghda Anelis (2010), menganalisa sifat mekanik dari hasil pengelasan dengan metode *friction stir welding* pada aluminium 6110. Pada penelitian ini menggunakan putaran mesin 3600 rpm dengan variasi kecepatan pengelasan yaitu : 40 mm/menit, 64 mm/menit, 93 mm/menit, 200 mm/menit, dan 320 mm/menit. Hasil dari penelitian ini adalah kekuatan *yield* dan kekuatan tarik sangat berbeda dengan logam induk. Hal ini dikarenakan oleh pengaruh temperature tinggi pada saat proses pengelasan. Daerah lasan (*stir zone*) mempunyai nilai kekerasan yang sangat berbeda dibandingkan dengan logam induk. *Stir zone* mempunyai kekerasan sekitar 37,5 HVN, hal ini dikarenakan pengaruh temperature tinggi pada saat proses pengelasan.

Esmaeili dkk (2011) melakukan penelitian pengelasan antara aluminium dan kuningan dengan metode *friction stir welding*. Variasi yang digunakan adalah kecepatan putar tool 200 rpm, 450 rpm, 650 rpm, dan 900 rpm dan dengan kecepatan pengelasan konstan pada 20mm/menit. Dari hasil penelitian didapatkan hasil sebagai berikut, pada pengujian tarik didapat kekuatan yang paling rendah pada kecepatan putar 200 rpm sebesar 27,1 MPa. Sedangkan kekuatan tarik paling tinggi diperoleh pada kecepatan putar 450 rpm dengan nilai 100,1 MPa. Untuk

kecepatan putar 600 rpm diperoleh kekuatan tarik sebesar 89,1 MPa, dan pada kecepatan putar 900 rpm didapat kekuatan tarik sebesar 76,85 MPa. Kekuatan tarik maksimal terdapat pada kecepatan putar 450 rpm, kekuatan menurun seiring dengan kenaikan kecepatan putar *tool*.

Li dkk (2011), meneliti tentang struktur mikro dan sifat mekanik *Friction stir welding* hasil penyambungan material aluminium seri 1350 dengan tembaga. Hasil penelitian menyatakan struktur mikro yang rumit terbentuk di area *stir zone*, dimana pola seperti pusaran dan struktur campuran dapat ditemukan. Distribusi kekerasan menunjukkan bahwa kekerasan *stir zone* disisi tembaga lebih tinggi dari pada sisi aluminium. Tegangan dan regangan hasil uji tarik lasan masing-masing adala 152 MPa dan 6,3%. Pengamatan permukaan patahan hasil uji tarik menunjukan ulet tetapi rapuh.

2. METODE

2.1 Bahan dan Alat penelitian

2.1.1 Bahan

- Material : Aluminium seri 1100, Tembaga, dan Kuningan

2.1.2 Alat penelitian

- Alat pengelasan : Mesin milling dan *Tool Joint* (Baja HVN)
- Alat bantu : Mistar, spidol, mesin potong, ampelas, gergaji potong, Infrared Pyrometer, jangka sorong, kikir, cekam, resin, kain bludu, hair dryer, cairan etsa.
- Alat pengujian : Alat uji universal testing machine, micro hardness *Vickers*, mikroskop mikro

2.2 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.

2.3 Pelaksanaan dan pengujian pengelasan

2.3.1 Persiapan

Melakukan persiapan dengan membuat atau meminjam alat yang akan digunakan pada proses pengelasan yaitu : pencekam, *tool joint* dan mesin serta alat penunjangnya.

Membeli material sesuai spesifikasi yang akan digunakan untuk proses pengelasan yaitu material Aluminium, Tembaga, dan Kuningan.

2.3.2 Pengelasan

Melakukan proses pengelasan dengan parameter yang sudah ditentukan, sebagai berikut :

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

2.3.3 Pengelasan lanjut spesimen

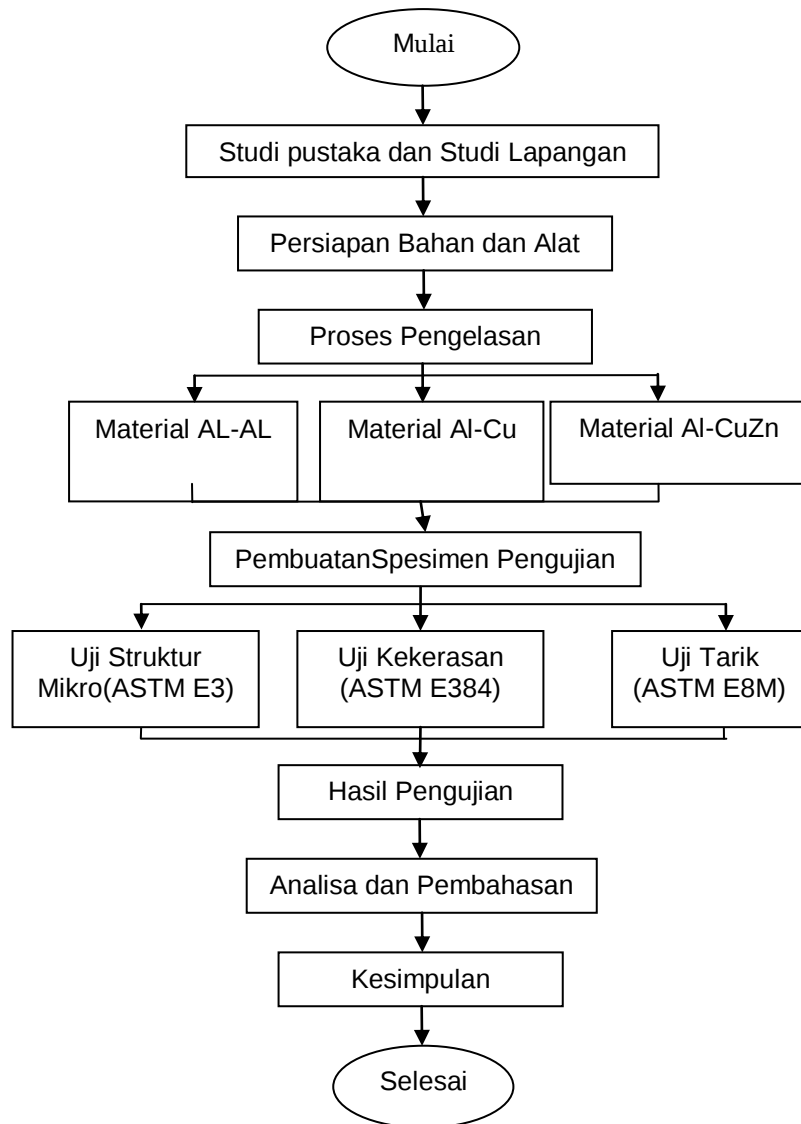
Hasil pengelasan dibuat berupa spesimen dengan bentuk sesuai dengan standar yang digunakan, yaitu :

- ASTM E3 untuk pengujian struktur mikro
- ASTM E384 untuk pengujian kekerasan
- ASTM E8M untuk pengujian tarik

2.3.4 Melakukan pengujian dengan standar yang sudah ditentukan seperti diatas

2.3.5 Hasil pengujian mengambil data serta mencatatnya untuk dilakukan analisa dan pembahasan lebih lanjut

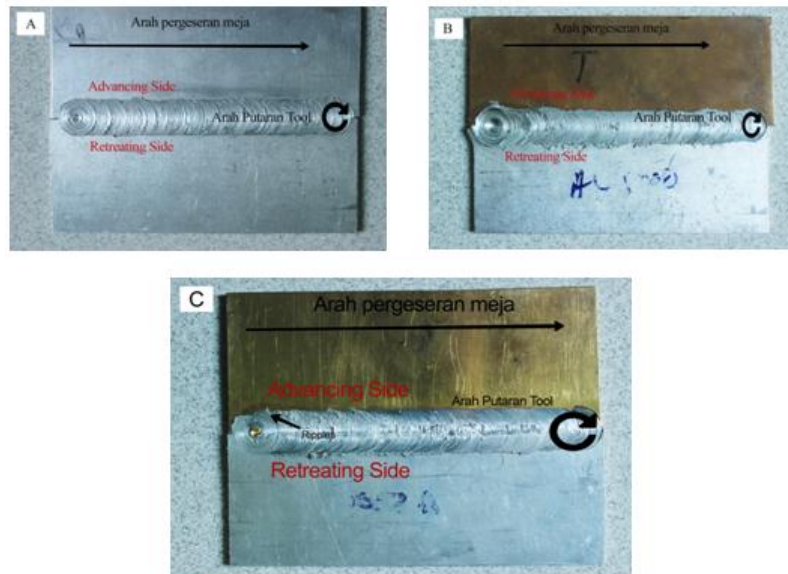
2.4 Diagram alir penelitian



Gambar 3 Diagram Alir Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

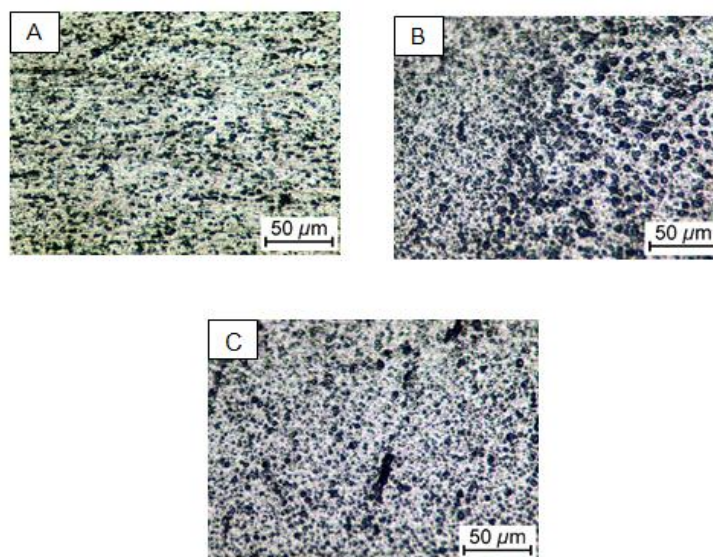
3.1 Hasil Pengelasan



Gambar 4 (a). Hasil pengelasan FSW Aluminium dengan Aluminium.
(b). Aluminium dengan Tembaga. (c) Aluminium dengan Kuningan

3.2 Hasil pengujian foto mikro

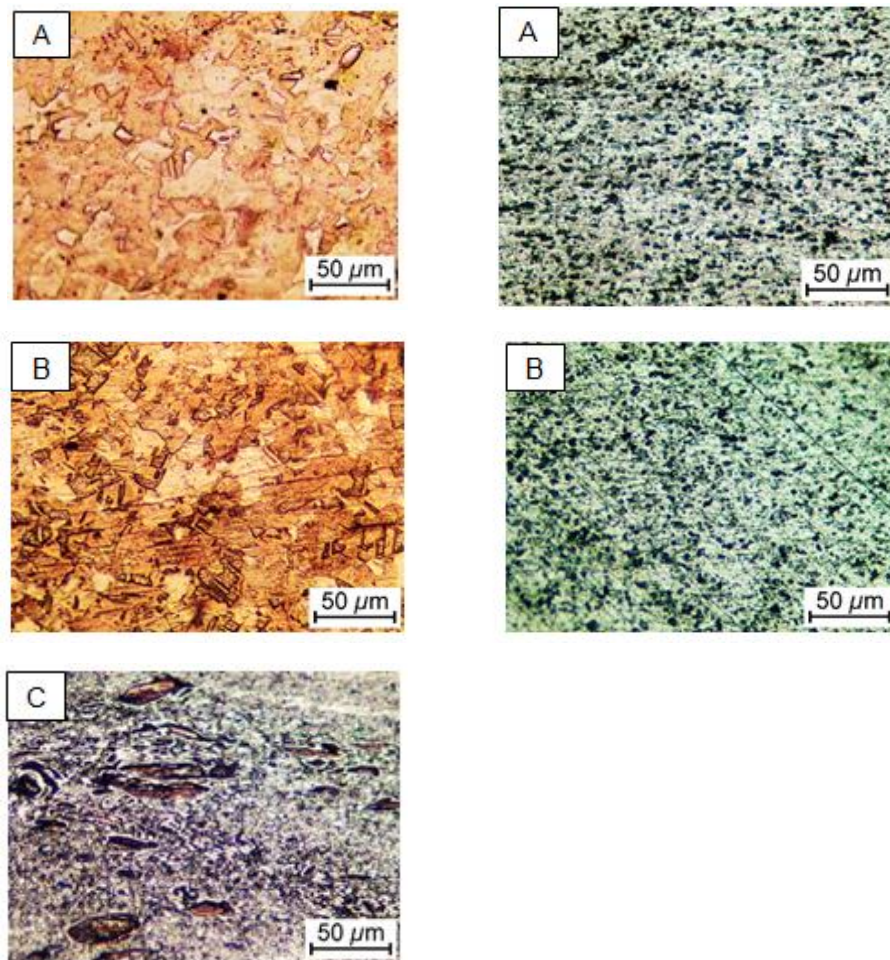
3.2.1 Struktur mikro pengelasan Al-Al



Gambar 5 Struktur mikro Al-Al setelah pengujian dengan pembesaran
(a) *Base metal* (b) *Heat Affected Zone* (c) *Stir zone*

Pada gambar (a) daerah *base metal* aluminium menurut *ASM Hand Book Metallography and Microstructures* (Vol 9), partikel hitam yang terdispersi merata pada matriks aluminium adalah Fe Al_3 , (b) struktur mikro pengelasan Al-Al pada daerah *Heat Affected Zone* (HAZ) mempunyai bentuk butir hitam dan memiliki perbedaan ukuran butir menjadi lebih halus dan kecil jika dibandingkan dengan *base metal* yang cenderung lebih lebar, (c) Struktur mikro pada daerah *stir zone* Al-Al terlihat bentuk butiran cenderung lebih halus dan terlihat butiran hitam lebih kecil mengikuti alur dari putaran pin. Hal ini diakibatkan efek panas yang menghasilkan rekristalisasi dan menghasilkan butiran halus pada proses pengelasan di daerah pengadukan.

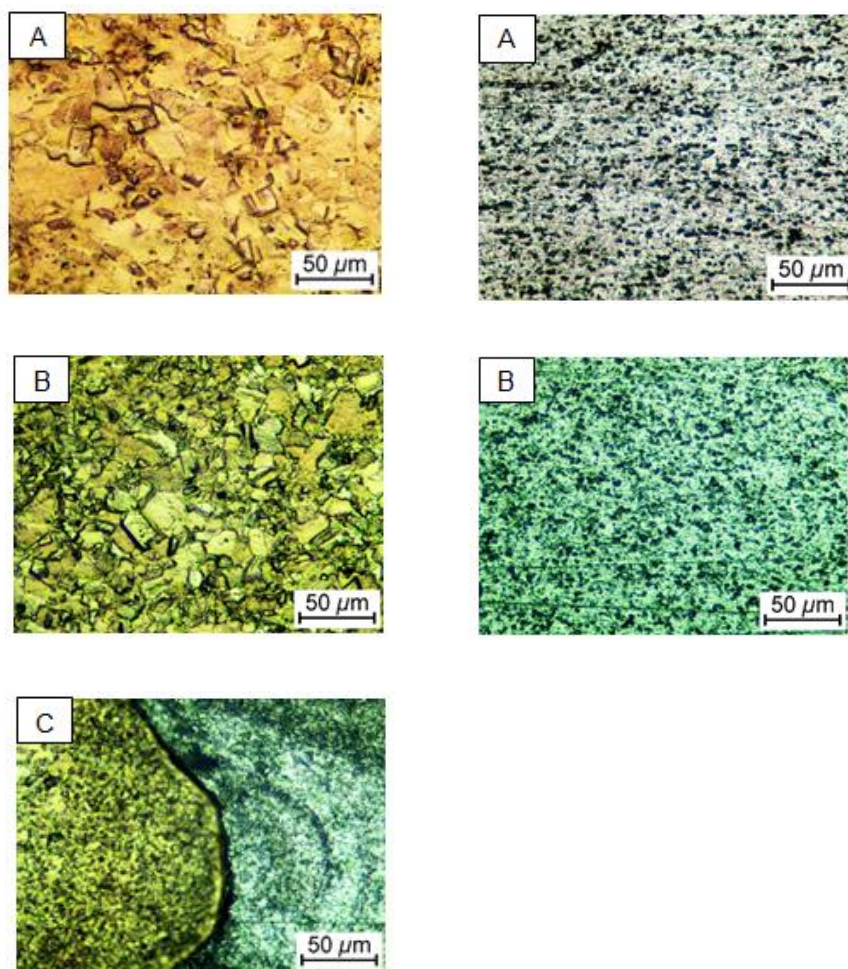
3.2.2 Struktur mikro pengelasan Al-Cu



Gambar 6 Struktur mikro Al-Cu setelah pengujian dengan pembesaran
(a) *Base metal* (b) *Heat Affected Zone* (c) *Stir zone*

Pada Gambar (a) daerah *base metal* pengelasan Al-Cu terlihat butiran besar dan panjang karena pada daerah *base metal* tidak terpengaruh efek panas yang dapat merubah struktur mikronya. (b) pada daerah *Heat Affected Zone (HAZ)* memiliki ukuran butir yg lebih besar dan rapat jika dibandingkan dengan *base metal* ukuran butirnya masih terlalu renggang. Hal ini disebabkan karena efek panas yang dihasilkan dari gesekan pin dengan spesimen. (c) Struktur mikro pada daerah *stir zone* aluminium dengan tembaga terlihat butiran aluminium tercampur menyatu dengan tembaga, hal ini terjadi akibat adanya deformasi plastis yang disebabkan oleh proses puntiran pada saat pengelasan.

3.2.3 Struktur mikro pengelasan Al-CuZn



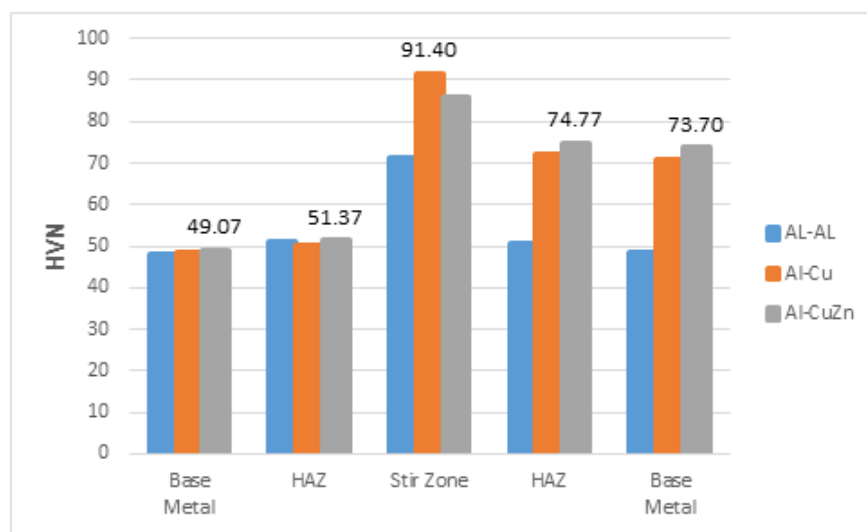
Gambar 7 Struktur mikro Al-CuZn setelah pengujian dengan pembesaran
(a) *Base metal* (b) *Heat Affected Zone* (c) *Stir zone*

Pada gambar (a) daerah *base metal* pengelasan Al-Cu terlihat butiran besar dan panjang karena pada daerah *base metal* tidak terpengaruh efek panas yang dapat merubah struktur mikronya. (b) pada daerah *Heat Affected Zone (HAZ)* memiliki ukuran butir yg lebih besar dan rapat jika dibandingkan dengan *base metal* ukuran butirnya masih terlalu renggang. Hal ini disebabkan karena efek panas yang dihasilkan dari gesekan pin dengan spesimen. (c) Struktur mikro pada daerah ini *stir zone* mengalami sedikit retakan (*crack*) sepanjang jalur pengelasan. Hal ini disebabkan karena perbedaan titik lebur kedua material yang jauh berbeda sehingga material tidak tercampur dan tersambung. Hal ini terjadi karena material kuningan tidak meleleh dengan sempurna pada saat pengelasan berlangsung.

3.3 Hasil Pengujian Kekerasan

Tabel 1 hasil rata-rata pengujian kekerasan

Material	Base Metal	HAZ	Stir Zone	HAZ	Base Metal
Al-Al	48.3	51.10	71.50	50.53	48.43
Al-Cu	48.37	50.40	91.40	72.30	70.80
Al-CuZn	49.07	51.37	85.93	74.77	73.30



Gambar 8 Histogram perbandingan uji kekerasan dari semua pengelasan

Dari data tabel dan grafik diatas menunjukan perbandingan nilai kekerasan pada daerah *base metal*, *haz*, dan *stir zone*. Dari rata-rata hasil uji kekerasan yang paling tinggi terdapat pada daerah *stir zone* dibandingkan dengan daerah lainnya yaitu *haz*, dan *base metal*. Pada daerah *stir zone* alumunium dengan tembaga memiliki nilai kekerasan paling tinggi pada daerah *stir zone* sebesar 91.40 HVN, lebih tinggi dari nilai kekerasan Aluminium dengan kuningan sebesar 85.93 HVN, Sedangkan Aluminium dengan Aluminium memiliki nilai kekerasan yang paling rendah didaerah *stir zone* sebesar 71.50 HVN. Hal ini disebabkan karena pada daerah *stir zone* mengalami proses panas secara langsung, dan semakin besar heat input yang dihasilkan akan menyebabkan butiran semakin kecil, semakin kecil ukuran butir maka jumlah butiran akan semakin padat sehingga menyebabkan tingkat kekerasannya semakin tinggi.

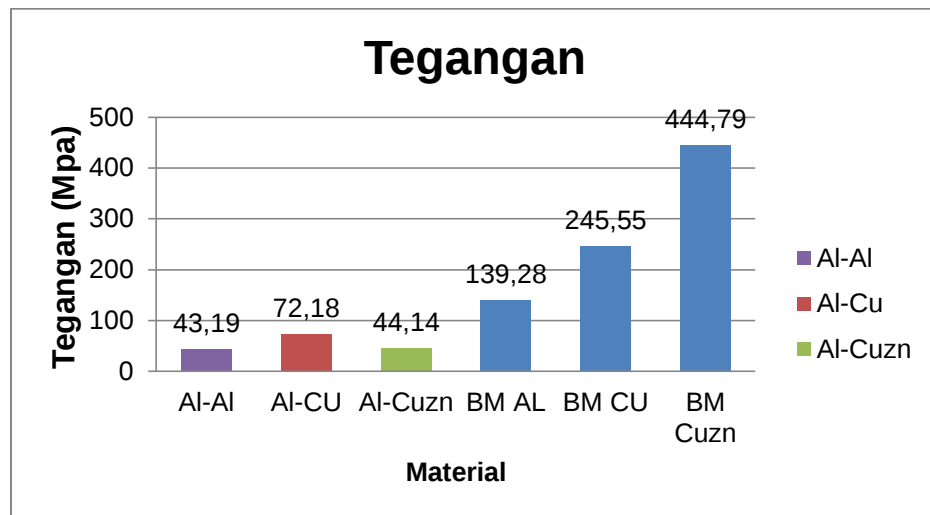
3.4 Hasil pengujian tarik

Hasil yang diperoleh dari proses pengujian tarik berupa nilai tegangan dan regangan antara Al-Al, Al-Cu, dan Al-CuZn dari hasil pengelasan yang akan dibandingkan dengan nilai tegangan dan regangan spesimen yang lain. Hasil pengujian tarik berupa data dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 2 tegangan hasil uji tarik

Material	A ₀ (mm ²)	Ultimate tensile Streng σ (Mpa)		Rata-rata σ (Mpa)
		p1	p2	
Al-Al	9.6	74.67	11.71	43.19
Al-Cu	9.6	71.77	72.58	72.18
AL-CuZn	9.6	39.85	48.43	44.14
BM Al	9.6	146.77	131.79	139.28
BM Cu	9.6	231.37	259.73	245.55
BM Cuzn	9.6	412.74	476.84	444.79

Analisa Kekuatan Tarik :



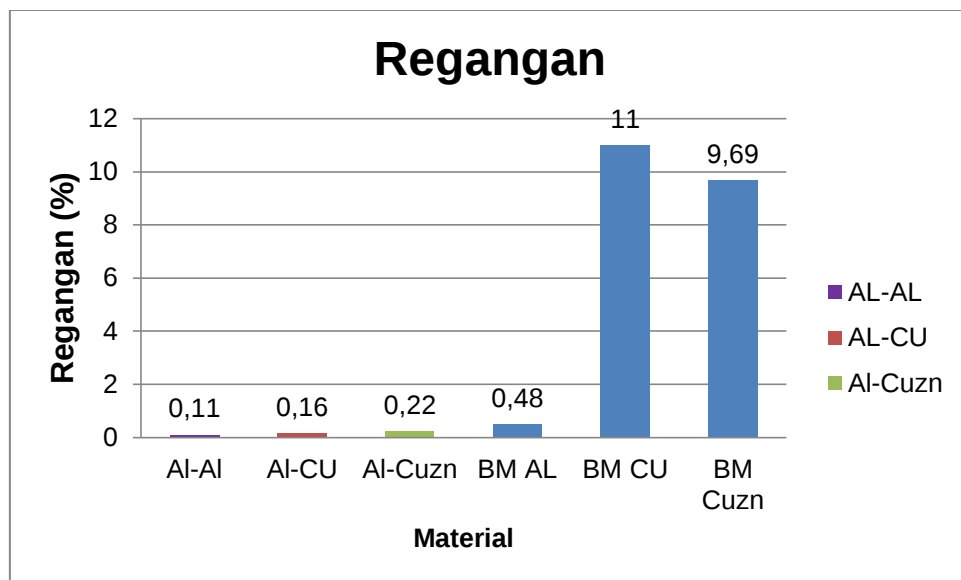
Gambar 9 Histogram Tegangan pada Pengelasan FSW

Pada gambar tegangan diatas menunjukan kekuatan tarik dan tegangan tertinggi diperoleh pada sambungan las aluminium dengan tembaga yaitu dengan rata-rata sebesar 72.18 MPa, kemudian nilai tegangan terbesar selanjutnya pada pengelasan aluminium dengan kuningan yaitu 44.14 MPa. Sedangkan hasil kekuatan tarik dan nilai tegangan terendah terdapat pada pengelasan aluminium dengan aluminium sebesar 43.19 MPa. Pada sambungan pengelasan aluminium dengan tembaga mempunyai kemampuan tegangan lebih tinggi dibandingkan dengan spesimen lainnya. Hal ini dikarenakan pada nilai kekerasan aluminium dengan tembaga memiliki nilai kekerasan lebih tinggi dibandingkan dengan spesimen lainnya, sehingga mengalami patahan ulet.

Tabel 3 Regangan Uji Tarik

Material	L ₀ (mm)	Regangan (%)		Rata rata ε (%)
		p1	p2	
Al-Al	32	0.18	0.03	0.11
Al-Cu	32	0.21	0.11	0.16
AL-CuZn	32	0.2	0.23	0.22
BM Al	32	0.57	0.39	0.48
BM Cu	32	9.96	12.03	11.00
BM Cuzn	32	8.15	11.23	9.69

Analisa Regangan :



Gambar 10 Histogram Regangan Pada Pengelasan FSW

Grafik Gambar histogram regangan diatas menunjukkan hasil dari pengujian tarik untuk nilai regangan dengan variasi perbedaan material yaitu aluminium dengan aluminium sebesar 0.11%, aluminium dengan tembaga sebesar 0.16%, dan aluminium dengan kuningan sebesar 0.22%. Pada hasil pengujian tarik tersebut nilai regangan tertinggi pada pengelasan aluminium dengan kuningan disebabkan pada hasil las terlihat butiran-butiran halus dan nilai kekerasan juga cukup tinggi sehingga mengalami patahan ulet. Sedangkan

nilai regangan terendah terdapat pada pengelasan aluminium dengan aluminium dikarenakan terlihat hasil las membentuk butiran-butiran kasar yang disebabkan kurangnya panas yang didapat pada saat proses pengelasan sehingga patahan terjadi tepat pada daerah las dan mengalami patahan getas.

4. PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa data yang meliputi pengujian struktur mikro, kekerasan dan uji tarik maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- 4.1.1 Pengelasan *friction stir welding* dengan variasi perbandingan material spesimen yang berbeda-beda mempengaruhi struktur mikro pada daerah HAZ yaitu terlihat bentuk struktur mikro menjadi lebih kecil dan padat jika dibandingkan dengan base metal yang cenderung lebih besar ukuran butirannya. Pada struktur mikro daerah *Stir Zone* menjadi lebih lembut dan merata jika dibandingkan dengan daerah HAZ dan base metal. Hal ini terjadi karena pengaruh adukan *tool joint* dan panas saat proses pengelasan.
- 4.1.2 Nilai kekerasan pada daerah pengelasan material Al-Cu sebesar 91.40 HVN, lebih tinggi dari nilai kekerasan Al-CuZn sebesar 85.93 HVN. Hal ini diduga karena sambungan las Al-CuZn mengalami retakan (crack) disepanjang lasan yg menyebabkan nilai kekerasannya menurun. Pada sambungan las Al-Cu butiran lelehan aluminium dan tembaga menyatu dengan baik, sedangkan nilai kekerasan terendah terdapat pada pengelasan Al-Al sebesar 71.50 HVN.
- 4.1.3 Hasil pengujian tarik diketahui kekuatan tarik tegangan maksimum diperoleh pada sambungan las Al-Cu yaitu dengan rata-rata sebesar 72.18 MPa, Sedangkan nilai regangan maksimum terdapat pada sambungan las Al-CuZn dengan rata-rata 0.22%.
- 4.1.4 Hasil dari semua pengujian dapat diketahui bahwa kekuatan sambungan las Al-Cu tampak lebih kuat, dibandingkan dengan pengelasan lainnya,

dilihat dari kekuatan tarik tegangan maksimum dengan rata-rata 72.18 MPa, sedangkan untuk nilai kekerasannya sebesar 91.40 HVN.

4.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian pengelasan FSW yang telah dilakukan, tentunya masih terdapat beberapa kekurangan yang perlu diperbaiki kembali untuk mendapatkan hasil yang lebih maksimal. Maka dari itu penulis menyampaikan beberapa saran, yaitu :

- 4.2.1 Pada permukaan cekam yang menjadi tumpuan benda kerja sepanjang lasan perlu diperiksa kembali kondisi kedatarannya sebelum memulai pengelasan. Pemasangan cekam yang tidak kencang juga akan berpengaruh pada hasil pengelasan karena tidak sanggup meredam getaran yang terjadi pada saat pengelasan.
- 4.2.2 Sebaiknya pemakaian pin tool tidak terlalu diforsir supaya keadaan pin tool tidak patah atau rusak. Sediakan pin tool cadangan bila perlu.
- 4.2.3 Diperlukan alat pengukur suhu yang lebih akurat seperti penambahan thermocuple, karena menggunakan pengukur suhu spot infrared thermometer kurang akurat.
- 4.2.4 Setelah melakukan pengelasan tool jont perlu dicek keausannya secara berkala agar mendapatkan hasil pengelasan yang maksimal.
- 4.2.5 Pada penelitian lain dapat mengubah kecepatan feed rate agar tidak terlalu kencang supaya masukan panas (heat input) yang dihasilkan dapat lebih maksimal.

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
- 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.
- 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.
- Wijayanto, Jarot & Agdha Anelis (2010) Pengaruh Feed Rate terhadap Sifat Mekanik pada Pengelasan *Friction Stir Welding* Aluminium 6110, *Jurnal Kompetensi Teknik* Vol. 2, No 1. November 2010.
- 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*.