

**ANALISIS SIFAT FISIS DAN MEKANIS HASIL
PENYAMBUNGAN PLAT BEDA MATERIAL (Al-CuZn)
(Al-Cu) (Cu-CuZn) MENGGUNAKAN METODE *FRICTION*
*STIR WELDING***



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

Oleh :

TITO ERIK MINANDA

D 200 120 051

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2018**

HALAMAN PERSETUJUAN

**ANALISIS SIFAT FISIS DAN MEKANIS HASIL PENYAMBUNGAN PLAT
BEDA MATERIAL (Al-CuZn) (Al-Cu) (Cu-CuZn) MENGGUNAKAN
METODE *FRICTION STIR WELDING***

PUBLIKASI ILMIAH

Oleh :

TITO ERIK MINANDA

D 200 120 051

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh :

Dosen Pembimbing,



Ir. Bibit Sugito, MT

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS SIFAT FISIS DAN MEKANIS HASIL PENYAMBUNGAN PLAT BEDA MATERIAL (Al-CuZn) (Al-Cu) (Cu-CuZn) MENGGUNAKAN METODE *FRICTION STIR WELDING*

Oleh :

TITO ERIK MINANDA

D 200 120 051

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji

Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin

Universitas Muhammadiyah Surakarta

Pada hari Senin, 13 Agustus 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. Ir.Agus Dwi Anggono, ST., M.Eng. Ph.D. (.....)

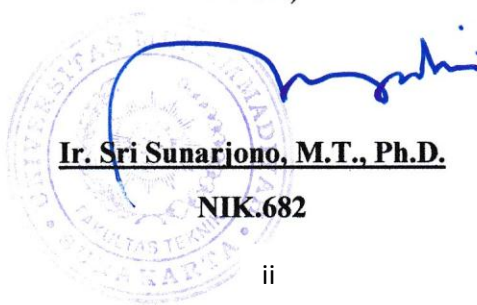
(Anggota II Dewan Penguji)

(.....)

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, 13 Agustus 2018

Penulis



TITO ERIK MINANDA

NIM : D.200.120.051

ANALISIS SIFAT FISIS DAN MEKANIS HASIL PENYAMBUNGAN PLAT BEDA MATERIAL (Al-CuZn) (Al-Cu) (Cu-CuZn) MENGGUNAKAN METODE *FRICION STIR WELDING*

Abstrak

Pengelasan dalam industri manufaktur memiliki peranan penting pada proses penyambungan logam. Salah satu metode pengelasan adalah friction stir welding (FSW). Metode 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 fisis dan mekanis dari penyambungan plat beda material yaitu antara aluminium dengan kuningan, aluminium dengan tembaga dan tembaga dengan kuningan dengan cara melakukan uji tarik, uji kekerasan vickers dan uji foto mikro pada hasil pengelasan friction stir welding. Pengelasan pada penelitian ini menggunakan material aluminium seri 1100, tembaga paduan dan kuningan, sambungan menggunakan butt joint, parameter yang digunakan adalah kecepatan putar 1250 rpm, kecepatan pemakanan 12.5 mm/menit. Analisis dilakukan dengan pengujian tarik, micro vickers, foto mikro. Hasil pengujian ini menunjukkan struktur mikro pengelasan aluminium dengan kuningan pada daerah stir zone mengalami crack sepanjang pengelasan. Sedangkan pada daerah stir zone semua pengelasan menghasilkan butiran halus karena pengaruh saat pengadukan tool joint pada saat proses pengelasan. Pengujian kekerasan di daerah stir zone pengelasan tembaga dengan kuningan mengalami peningkatan dibandingkan pengelasan lainnya. Sedangkan pada pengujian tarik tegangan tarik maksimal pengelasan tembaga dengan kuningan yaitu sebesar 254.60 MPa dan regangan maksimalnya sebesar 5.17%.

Kata Kunci: FSW, Beda Material, Sifat Mekanis, Sifat Fisis

Abstract

Welding in the manufacturing industry has an important role in the process of metal grafting. One of the welding methods is friction stir welding (FSW). The FSW method is to utilize friction between the tool and the workpiece to be connected. This connection occurs because of the two-sided stirring of metal pieces that have begun to soften. The objective of this research is to know the physical and mechanical properties of different material plate between aluminum with brass, aluminum with copper and copper with brass by tensile test, vickers hardness test and micro photo test on welding friction stir welding. The welding of this research using 1100 series aluminum material, copper alloy and brass, connection using butt joint, the parameter used is 1250 rpm rotational speed, feed speed 12.5 mm / minute. The analysis was performed by tensile testing, micro vickers, micro photographs. The results of this test show the micro-structure of aluminum welding with brass in the area of stir zone cracked during welding. While in the steering zone zone all the

welding produces fine grains due to the effect of stirring the joint tool during the welding process. Hardness testing in the copper welding zone with brass increases compared to other welds. While on tensile test of maximum tensile strength of copper welding with brass that is equal to 254.60 MPa and maximum strain of 5.17%

Keywords: FSW, Dissimilar Material, Mechanical Properties, Physical Properties

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Pengelasan dalam industri manufaktur memiliki peranan penting pada proses penyambungan logam. Ini dapat dengan mudah kita jumpai pembuatan produk/komponen yang membutuhkan penyambungan material baik di bidang otomotif, kedirgantaraan, perkapalan dan lain-lain. Dimana salah satu metode yang sering digunakan untuk penyambungan material adalah pengelasan. Banyak industri manufaktur yang mengembangkan teknik-teknik pengelasan dan meningkatkan kualitas produk.

Saat ini terdapat 2 macam proses pengelasan, yaitu: *Liquid State Welding* (LSW)/Fusion Welding dan *Solid State Welding* (SSW). LSW adalah proses pengelasan logam dengan cara mencairkan logam tersebut terlebih dahulu, sedangkan SSW merupakan proses pengelasan logam yang dilakukan dibawah titik leleh benda kerja tersebut.

Untuk menjawab tantangan persaingan industri tersebut maka dikembangkanlah metode *Solid State Welding* (SSW) yang 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. Metode ini disebut dengan *Friction stir welding* (FSW). *Friction stir welding* (FSW) diciptakan oleh Wayne Thomas di TWI (*The Welding Institute*) pada bulan Desember 1991.

FSW memiliki beberapa keunggulan dibanding las konvensional atau las *fusion* (lebur). Keunggulan FSW tersebut 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).

Penelitian ini akan ditujukan untuk mengetahui lebih jelas mengenai kekuatan sambungan las yang mempunyai beda jenis material yaitu antara aluminium dengan kuningan, aluminium dengan tembaga dan tembaga dengan kuningan. Penelitian ini akan diuji dengan menggunakan uji tarik, uji kekerasan, dan foto mikro. Diharapkan dari proses FSW ini didapat kesimpulan bagaimana pengaruh beda material disambung menjadi satu terhadap sifat fisis dan sifat mekanisnya.

1.2 Tujuan

- a. Mencari nilai tegangan maksimal dan regangan dari hasil pengelasan *friction stir welding* beda material dengan melakukan pengujian tarik.
- b. Mencari nilai kekerasan pada daerah *stir zone* dari hasil pengelasan *friction stir welding* beda material dengan melakukan pengujian kekerasan.
- c. Mendeskripsikan hasil foto mikro.

1.3 Tinjauan Pustaka

Esmaeili dkk (2011) melakukan penelitian pengelasan antara kuningan dan aluminium dengan menggunakan 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 20 mm/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 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 mikro struktur dan sifat mekanik *Friction Stir Welding* hasil penyambungan material tembaga murni dengan material aluminium seri 1350. hasil penelitian menyatakan struktur mikro yang rumit terbentuk di area weld nugget, dimana pola seperti vortex dan struktur lamella dapat ditemukan. Distribusi kekerasan menunjukkan bahwa kekerasan weld nugget di sisi tembaga lebih tinggi dari pada sisi paduan aluminium, dan kekerasan di bagian bawah weld nugget umumnya lebih tinggi daripada di daerah lain. Tegangan dan regangan hasil uji tarik

lasan masing-masing adalah 152 MPa dan 6,3%. Pengamatan permukaan patahan hasil uji tarik menunjukkan sambungan pengelasan campuran ulet dan 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. Hasil penelitian menyatakan bahwa kedua material dapat menyatu tetapi hasil sambunganya kurang baik, terdapat crack di dalamnya sehingga dapat mempengaruhi hasil uji tarik. Nilai kekerasan di area weld nugget 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 : Jangka sorong, mesin potong, kikir, gergaji potong, cekam, amplas, *Infrared Pyrometer*, kain bludru, resin dan *catalys*, cairan etsa, mistar dan spidol.

Alat pengujian : Alat uji *Universal Testing Machine*, *micro hardness vickers*, *mickroskop* mikro.

2.2 Bahan penelitian

Material : Aluminium seri 1100, tembaga paduan dan kuningan.

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

2.4.1 Persiapan

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

2.4.2 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

2.4.3 Pengerjaan lanjutan spesimen

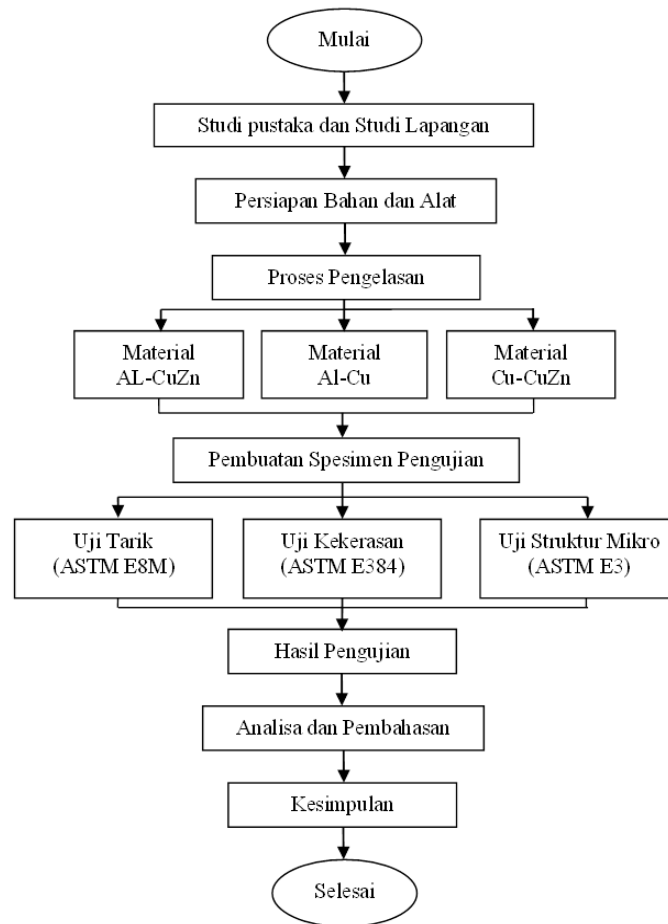
Hasil pengelasan dibuat sesuai dengan standar yang digunakan, yaitu :

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

2.4.4 Melakukan pengujian dengan menggunakan standar yang sudah ditentukan diatas

2.4.5 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



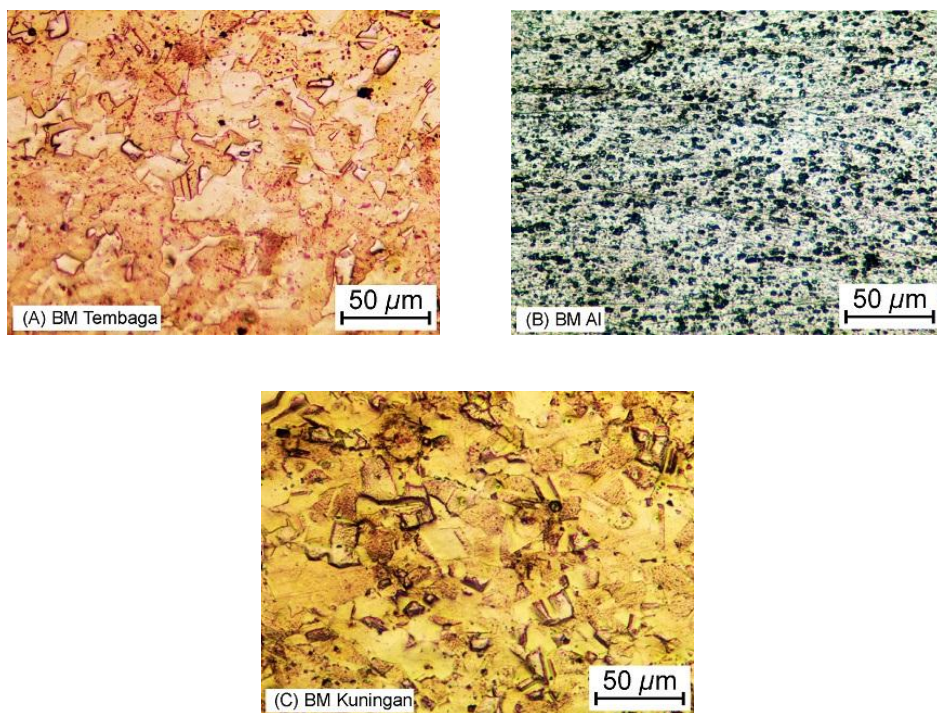
Gambar 2 Hasil Pengelasan FSW (A) Pengelasan Al-CuZn (B) Pengelasan Al-Cu (C) Pengelasan Cu-CuZn.

3.2 Hasil Pengujian Foto 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*.

3.2.1 Base Metal

Base metal/logam induk merupakan daerah yang tidak terpengaruh pengadukan maupun panas pada saat pengelasan.

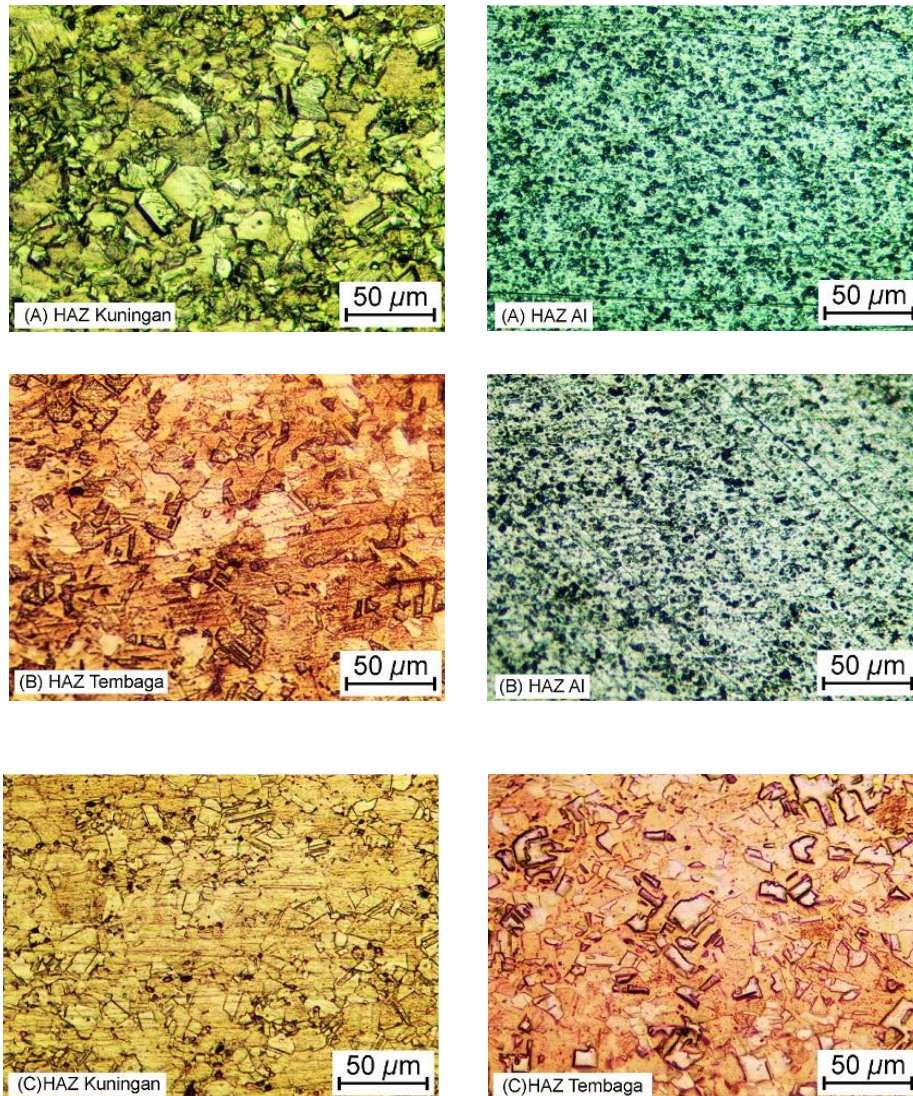


Gambar 3 Struktur Mikro daerah *Base Metal* (A) Tembaga (B) Aluminium (C) Kuningan

Pada gambar 3 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 .

3.2.2 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.



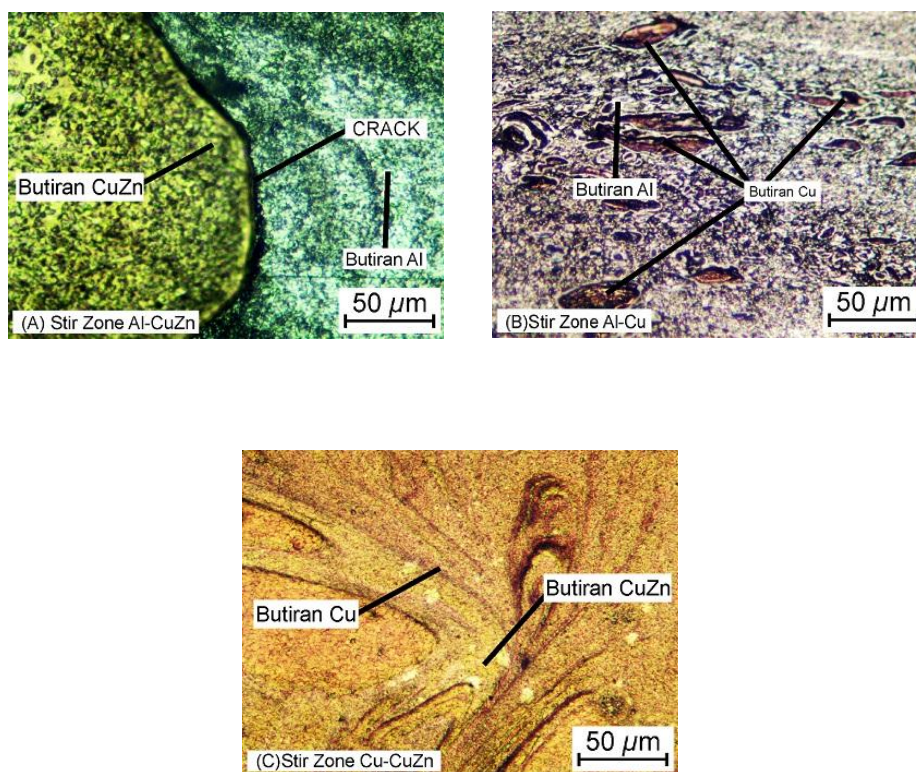
Gambar 4 Struktur mikro daerah HAZ (A) aluminium dengan kuningin (B) aluminium dengan tembaga (C) tembaga dengan kuningin

Pada gambar 4 pengelasan FSW pada daerah HAZ, terjadi perubahan bentuk struktur mikronya. Pada setiap daerah HAZ masing-masing bentuk struktur nya menjadi rapat-rapat dan padat jika dibandingkan dengan *base metal* masing-masing yang cenderung lebih renggang. Hal ini disebabkan karena pengaruh panas saat proses pengadukan *shoulder* dan *pin* pada saat proses pengelasan berlangsung. Dari

semua bentuk struktur mikro tersebut mengalami pengecilan bentuk butiran. Hal ini berpengaruh pada sifat mekanis dari material tersebut semakin kecil bentuk butiran maka semakin meningkat sifat mekanisnya sedangkan semakin besar bentuk butiran akan semakin menurun sifat mekanisnya.

3.2.3 Struktur Mikro Daerah *Stir Zone*

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



Gambar 5 Struktur mikro daerah *stir zone* (A) aluminium dengan Kuningan, (B) aluminium dengan tembaga, (C) tembaga dengan kuningan

Pada gambar 5 (a) daerah *stir zone* pengelasan FSW aluminium dengan kuningan terjadi retakan (*crack*) sepanjang jalur pengelasan tetapi bentuk strukturnya menjadi halus dan rapat. Hal ini disebabkan karena perbedaan titik lebur kedua material yang berbeda sehingga material kuningan tidak tercampur dengan baik. Dari pengelasan FSW aluminium dengan kuningan kekuatan tarik nya pun menurun dan daerah *stir zone* kekerasannya meningkat. Sedangkan pada

gambar 5 (b) material tembaga hanya menempel dengan aluminium tetapi bentuk strukturnya menjadi halus dan rapat. Hal ini disebabkan karena perbedaan titik lebur kedua material yang berbeda sehingga material hanya menempel saja. Dari pengelasan FSW aluminium dengan tembaga daerah *stir zone* kekersannya meningkat. Sedangkan gambar 5 (c) terlihat material tembaga dan kuningan menyatu dengan baik bentuk strukturnya menjadi halus dan rapat. Hal ini disebabkan karena pengaruh panas antara kedua material saat proses pengadukan *shoulder* dan *pin* berlangsung, kedua material tercampur dan tersambung dengan baik. Dari *stir zone* tembaga dengan kuningan kekuatan tarik nya pun meningkat dan daerah *stir zone* kekersannya meningkat.

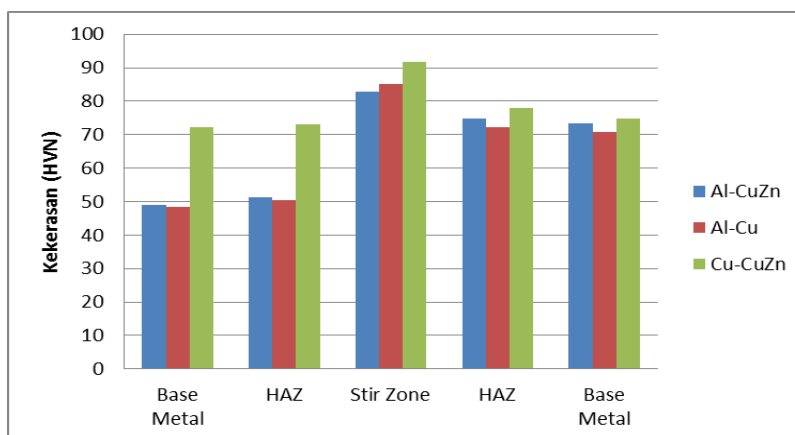
3.3 Hasil Pengujian Kekerasan

Pada hasil pengujian kekerasan dilakukan pada setiap spesimen pengelasan, pengujian kekerasan menggunakan uji kekerasan *micro vickers* dengan beban 200 gf, waktu penekanan 10 detik, setiap daerah terdiri dari 3 titik, hasil pengujian kekerasan *micro vickers* ditunjukkan pada tabel berikut :

Tabel 1 Hasil rata-rata pengujian kekerasan

Material	Base Metal	HAZ	Stir Zone	HAZ	Base Metal
Al-CuZn	49.07	51.37	82.93	74.77	73.30
Al-Cu	48.37	50.40	85.07	72.30	70.80
Cu-CuZn	72.10	73.10	91.63	78.10	74.77

Dari tabel 1 dapat dibuat histogram agar memudahkan dalam menganalisa data, berikut ini adalah histogram kekerasan dari hasil pengujian *micro vickers*.



Gambar 6 Histogram Uji Kekerasan dari Semua Pengelasan

Dari gambar 6 Hasil pengujian kekerasan, pada daerah *stir zone* tembaga dengan kuningan memiliki nilai kekerasan tertinggi yaitu 91.63 HV. Kemudian nilai kekerasan selanjutnya pada pengelasan aluminium dengan tembaga diperoleh nilai kekerasan yaitu 85.07 HV dan nilai kekerasan paling rendah pada pengelasan aluminium dengan kuningan di peroleh nilai kekerasan yaitu 82.93 HV. Hal ini dikarenakan titik lebur dari masing-masing material sangat berpengaruh terhadap nilai kekerasan menyebabkan pengadukan material menjadi tidak merata tetapi di daerah *stir zone* kekerasannya meningkat. Hal ini diperkuat oleh foto mikro pada gambar 4.4 yang menampilkan hasil foto mikro daerah *stir zone* semua pengelasan.

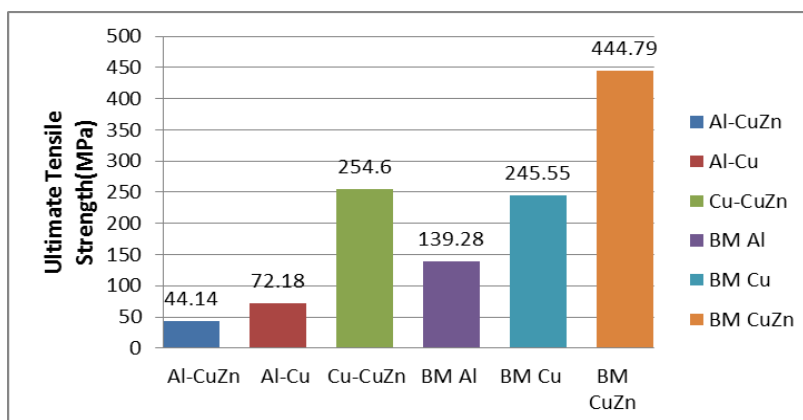
3.4 Hasil Pengujian Tarik

Pada hasil pengelasan FSW, spesimen pengujian tarik menggunakan standar ASTM E8M. Hasil yang diperoleh dari proses pengujian tarik berupa nilai tegangan dan regangan. Hasil pengujian tarik berupa data dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 2 Tegangan hasil uji tarik

Material	A ₀ (mm ²)	Ultimate Tensile Strength σ (MPa)		Rata-rata σ (MPa)
		σ_1	σ_2	
Al-CuZn	9.6	39.85	48.43	44.14
Al-Cu	9.6	71.77	72.58	72.18
Cu-CuZn	9.6	262.58	246.62	254.60
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

Dari tabel 2 dapat dibuat histogram agar memudahkan dalam menganalisa data, berikut ini adalah histogram tegangan dari hasil pengujian tarik.



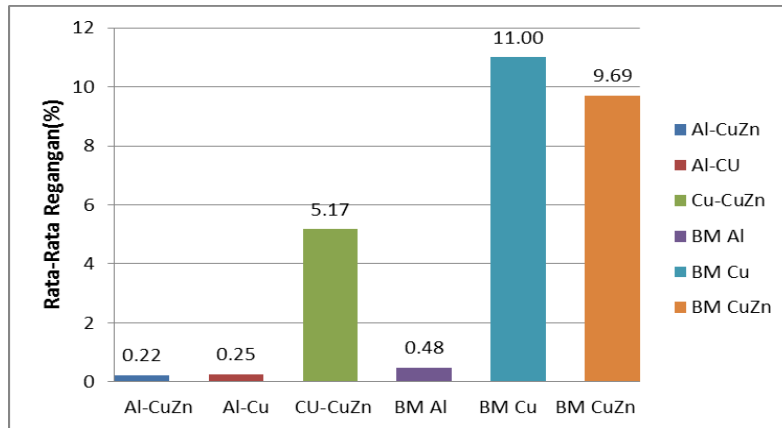
Gambar 7 Histogram Tegangan dari Semua Pengelasan

Hasil dari gambar 7 terlihat bahwa nilai tegangan terbesar pada pengelasan tembaga dengan kuningan yaitu rata-rata nilai 254.60 MPa dan patahannya terletak pada daerah *stir zone*, kemudian nilai tegangan terbesar selanjutnya pada pengelasan aluminium dengan tembaga yaitu rata-rata nilai 72.18 MPa dan patahannya terletak pada daerah *stir zone*, selanjutnya nilai tegangan paling rendah pada pengelasan aluminium dengan kuningan yaitu rata-rata nilai 44.14 MPa dan patahannya terletak pada daerah base metal tembaga. Hal ini menunjukkan sambungan pengelasan pada spesimen tembaga dengan kuningan mempunyai kemampuan tegangan lebih besar dibandingkan dengan spesimen yang lain. Hal ini karena karakteristik material tembaga dan kuningan tidak berbeda jauh dari segi kekerasan, titik lebur tegangan dan terlihat dari patahan spesimen masing-masing yang berbeda beda patahannya.

Tabel 3 Regangan uji tarik

Material	L ₀ (mm)	Regangan (%)		Rata-rata ϵ (%)
		ϵ_1	ϵ_2	
Al-Cuzn	32	0.2	0.23	0.22
Al-Cu	32	0.21	0.29	0.25
Cu-Cuzn	32	5.36	4.97	5.17
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

Dari tabel 3 dapat dibuat histogram agar memudahkan dalam menganalisa data, berikut ini adalah histogram regangan dari hasil pengujian tarik.



Gambar 8 Histogram Regangan dari Semua Pengelasan

Hasil dari gambar 8 terlihat bahwa nilai regangan terbesar terdapat pada pengelasan tembaga dengan kuningan yaitu sebesar 5.17%, kemudian nilai regangan terbesar selanjutnya pada pengelasan aluminium dengan tembaga yaitu sebesar 0.25%, selanjutnya regangan yang paling rendah pada pengelasan aluminium dengan kuningan yaitu sebesar 0.22%. Hal ini menunjukkan sambungan pengelasan pada spesimen tembaga dengan kuningan mempunyai kemampuan regangan lebih tinggi dibandingkan dengan spesimen yang lain. Hal ini karena material tembaga dan kuningan tidak berbeda jauh dari segi kekerasan, titik lebur dan regangan, hal ini berpengaruh pada nilai regangan yang lebih tinggi dari spesimen lainnya.

4. PENUTUP

4.1 Kesimpulan

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

- 4.1.1 Hasil dari pengujian tarik pengelasan FSW beda material tegangan maksimal pengelasan tembaga dengan kuningan mempunyai nilai 254.60 MPa. Sedangkan untuk regangan maksimal mempunyai nilai 5.17 %.
- 4.1.2 Hasil dari pengujian kekerasan pada daerah *stir zone* pengelasan tembaga dengan kuningan mempunyai nilai kekerasan tertinggi yaitu 91.63 HV. Sedangkan nilai kekerasan terendah pada pengelasan aluminium dengan kuningan yaitu 82.93 HV.

4.1.3 Hasil dari pengujian foto mikro daerah *stir zone* pengelasan aluminium dengan kuningan terjadi *crack* sepanjang pengelasan. Hal ini disebabkan karena perbedaan titik lebur kedua material yang berbeda sehingga material kuningan tidak tercampur dengan baik. Sedangkan pada daerah *stir zone* semua pengelasan mengalami pengecilan bentuk butiran, hal ini menunjukkan bahwa deformasi platis telah terjadi pada saat pengelasan berlangsung.

4.2 Saran

Dari hasil penelitian yang dilakukan masih terdapat beberapa kesalahan. Untuk itu penulis menyarankan untuk:

- 4.2.1 Pemilihan kecepatan putar *tool* dan kecepatan pemakanan *tool* perlu sangat diperhatikan karena pengelasan FSW beda material kecepatan *tool*nya berbeda.
- 4.2.2 Pada saat proses mencekam benda kerja harus di perhatikan, material harus kencang karena material rawan bergeser.
- 4.2.3 Pin *tool* sangat di anjurkan menggunakan material yang lebih kuat dari pada benda uji dan pin *tool* harus sering di cek keausannya.
- 4.2.4 Pemilihan material yang akan diteliti usakan sudah bersertifikasi agar tidak melakukan pengujian komposisi kimia lagi.

DAFTAR PUSTAKA

- American Society for Testing and Materials, 2001, *Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens*, ASTM, E3-01.
- American Society for Testing and Materials, 2002, *Standard Test Methods for Microindentation Hardness of Material*, ASTM, E384-99.
- American Society for Testing and Materials, 2003, *Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Material*, ASTM, E8M-04.
- Esmaeili A, Givi B, Rajani Z, 2011 “*A metallurgical and mechanical study on dissimilar Friction Stir welding of aluminum 1050 to brass (CuZn30)*”.
- Esmaeili A, Givi B, Rajani Z, 2011. “*The role of rotation speed on intermetallic compounds formation and mechanical behavior of friction stir welded brass/aluminum 1050 couple*”.

- Li Xia-wei, ZHANG Da-tong, QIU Cheng and ZHANG Wen., 2011, *Microstructure and mechanical properties of dissimilar pure copper/1350 aluminium alloy butt joint 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.
- Thomas, WM; Nicholas, ED; Needham, JC; Murch, MG; Temple-Smith, P; Dawes, CJ, 1991, *Friction-stir butt welding*, GB Patent No. 9125978.8, International patent application No. PCT/GB92/02203.
- Wirjosumarto, H., Okumura, S., 1996, *Teknologi Pengelasan Logam*, 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*.