

**STUDI PENGELASAN FRICTION STIR WELDING DENGAN BENTUK  
PENAMPANG PIN YANG BERBEDA PADA MATERIAL TEMBAGA DAN  
KUNINGAN TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT MEKANIS**



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

**Oleh :**

**FAJAR ULIL AMRI**

**D200140057**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA**

**2019**

**HALAMAN PERSETUJUAN**

**STUDI PENGELASAN FRICTION STIR WELDING DENGAN BENTUK  
PENAMPANG PIN YANG BERBEDA PADA MATERIAL TEMBAGA  
DAN KUNINGAN TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT  
MEKANIS**

**PUBLIKASI ILMIAH**

Oleh :

**FAJAR ULIL AMRI**

**D 200 140 057**

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen

Pembimbing



**Ir. Bibit Sugito, M.T.**

**HALAMAN PENGESAHAN**

**STUDI PENGELASAN FRICTION STIR WELDING DENGAN BENTUK  
PENAMPANG PIN YANG BERBEDA PADA MATERIAL TEMBAGA  
DAN KUNINGAN TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT  
MEKANIS**

**OLEH**

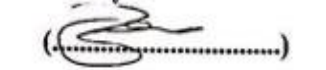
**FAJAR ULIL AMRI**

**D200140057**

**Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji  
Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Surakarta  
Pada hari selasa, 29 Oktober 2019  
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat**

**Dewan Penguji :**

- 1. Ir. Bibit Sugito, M.T.  
(Ketua Dewan Penguji)**
- 2. Ir. Subroto, M.T.  
(Anggota I Dewan Penguji)**
- 3. Bambang W.F, S.T., M.T.  
(Anggota II Dewan Penguji)**

  
.....  
  
.....  
  
.....

**Dekan,**

  
  
**Ir. Sri Sunarjono, M.T., Ph.D.**

## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam publikasi ilmiah 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, 11 November 2019

Penulis



**Fajar Ulil Amri**  
**D200140057**

# **STUDI PENGELASAN FRICTION STIR WELDING DENGAN BENTUK PENAMPANG PIN YANG BERBEDA PADA MATERIAL TEMBAGA DAN KUNINGAN TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT MEKANIS**

## **Abstrak**

*Friction Stir Welding (FSW)* atau Las Gesek Puntir adalah proses pengelasan gesek yang memuntir tool dengan memanfaatkan energi panas dan penekanan tanpa zat penambah maupun pengisi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sifat mekanik dan struktur mikro pada sambungan tembaga dan kuningan dengan pengelasan *friction stir welding* menggunakan variasi bentuk penampang pin. Pada proses pengelasan ini menggunakan mesin milling dengan parameter feedrate 30mm/menit, sudut kemiringan tool sebesar 3° dan kecepatan putaran tool 900 rpm. Bentuk penampang pin adalah silinder tirus, segitiga, dan persegi. Material yang digunakan adalah tembaga dan kuningan dengan panjang 150 mm, lebar 70 mm dan tebal 3 mm. Hasil Uji tarik pada bentuk penampang pin segitiga memiliki kekuatan tarik sebesar 213,01MPa, bentuk penampang pin silinder tirus sebesar 122,76 MPa sedangkan penampang pin persegi sebesar 203,74 MPa. Selanjutnya Nilai regangan bentuk penampang pin persegi sebesar 14.76%, nilai regangan bentuk penampang pin silinder tirus sebesar 8.05%, nilai regangan bentuk penampang pin segitiga sebesar 11,76. Nilai kekerasan pada bentuk pin segitiga dipusat las sebesar 98.33 VHN, nilai kekerasan pusat las pada bentuk penampang pin silinder sebesar 90.66 VHN dan nilai kekerasan pada bentuk penampang pin persegi sebesar 95,66 VHN. Sedangkan nilai kekerasan daerah HAZ-Cu bentuk penampang pin silinder tirus sebesar 58,33 VHN, penampang pin segitiga sebesar 68,66 VHN dan penampang pin persegi sebesar 61,66 VHN. Selanjutnya Nilai kekerasan pada daerah HAZ-CuZn bentuk penampang pin silinder tirus sebesar 97,33 VHN, bentuk penampang pin segitiga 99,66 VHN, bentuk penampang pin persegi 102 VHN. Dan untuk hasil foto struktur mikro penampang pin segitiga menghasilkan struktur mikro yang lebih halus dibandingkan pin silinder tirus atau persegi.

**Kata kunci:** friction stir welding, bentuk pin, sifat mekanik, struktur mikro

## **Abstract**

Friction Stir Welding (FSW) is a process of friction welding that twists the tool by utilizing heat energy and emphasis without any additives and fillers This research aims to determine the nature of mechanical and micro structures on copper and brass joints with friction stir welding with variation of pin cross section. In this welding process use a milling machine with a feedrate parameter of 30mm/min, tool tilt angle of 3 ° and a tool rotation speed of 900 rpm. Pin-section shapes are tapering, triangular, and square cylinders. The Material used is copper and brass with a length of 150 mm, width of 70 mm and a thickness of 3 mm. Tensile test result on triangular pin section shapes has a tensile strength of 213, 01MPa, the Cross-section shape of the Sillinder pin amounted to 122.76 MPa while the Square pin section of 203.74 MPa. Next the square pin cross section of stretch value is 14.76%, the strain value of the cylinder pin cross section is tapering by 8.05%, the stretch value

of the pin cross section of triangle is 11.76. The violent value of the triangular pin is centered in a weld of 98.33 VHN, the hardness value of the weld center on the cross section of the cylinder pin of 90.66 VHN and the hardness value of the square pin cross section of 95.66 VHN. While the violent value of the HAZ-Cu area of the tapping cylinder pin section was 58.33 VHN, the triangular pin section was 68.66 VHN and a square pin section of 61.66 VHN. Further violent value on the HAZ-CuZn region form a pin-cross section of the tapping cylinder 97.33 VHN, triangular pin cross shape 99.66 VHN, square pin cross shape 102 VHN. And for photos of triangular pin cross section, the micro structure produces a smoother microstructure than a taper or square cylinder pin.

**Keywords:** friction stir welding, pin shape, mechanical properties, microstructure

## 1. PENDAHULUAN

Pengelasan dalam industri manufaktur memiliki peranan penting pada proses penyambungan logam. Dalam dunia industri manufaktur itu sendiri sering kita jumpai pembuatan produk atau komponen yang membutuhkan penyambungan material untuk otomotif, perkapalan, penerbangan, dan lain-lain. Salah satu proses penyambungan tersebut adalah pengelasan (Welding). Pengelasan berdasarkan definisi Deutsche Industri Normen (DIN) adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilakukan dalam keadaan lumer atau cair.

Proses pengelasan dikelompokkan menjadi dua, yaitu: *Liquid State Welding* (LSW) dan *Solid State Welding* (SSW). LSW adalah proses pengelasan logam dengan cara melunakkan dua buah logam induk secara bersamaan, sedangkan SSW merupakan proses pengelasan logam yang dilakukan pada kondisi logam induk tidak mencapai titik leburnya pada saat tersambung. 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.

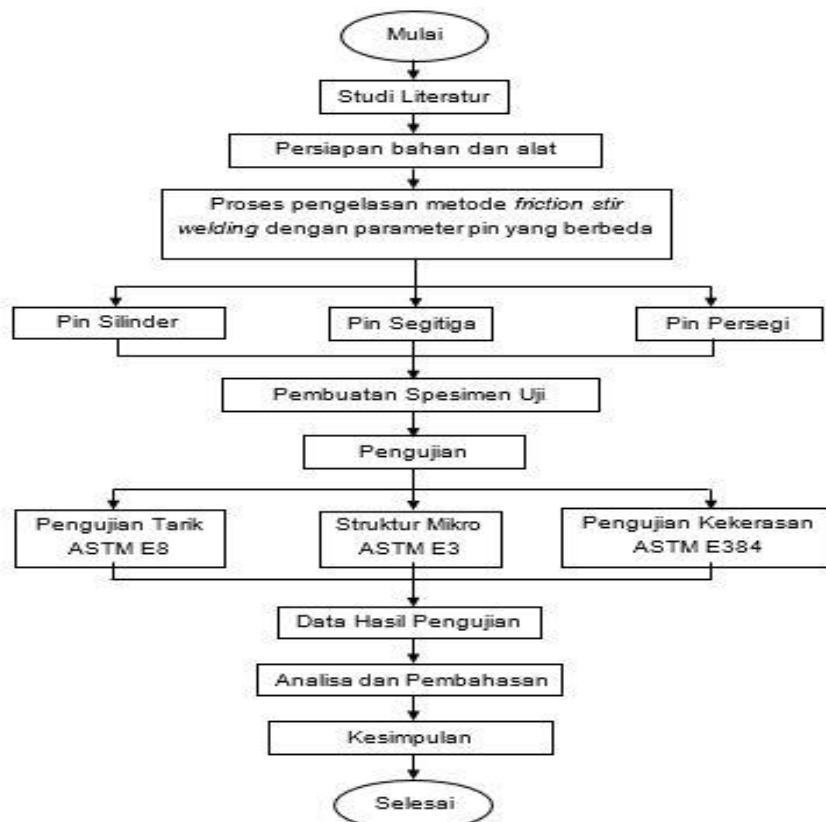
*Friction Stir Welding* (FSW) memiliki prinsip dasar yang sederhana yaitu dengan menggunakan sebuah *tool* yang terdiri dari pin dan *shoulder* yang diputar pada kecepatan putaran tertentu. *Tool* tersebut kemudian melakukan penetrasi pada 2 buah ujung plat atau lembaran logam yang akan disambung. Setelah penetrasi pada tingkat kedalaman tertentu pin *tool* akan bergerak sepanjang garis sambungan

antara logam yang disambung. Metode pengelasan ini memiliki kelebihan yaitu tingkat distorsi yang rendah, tidak memerlukan logam pengisi tidak memerlukan gas pelindung dan tidak menghasilkan asap. Sebagai salah satu teknik pengelasan yang relatif baru pengembangan ini sangat luas cakupannya. Variable-variable yang diteliti sangat bervariasi dan menarik untuk dikembangkan.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh perbedaan profil pin tool pada hasil pengelasan dengan metode *Friction Stir Welding* (FSW) pada material kuningan dengan tembaga terhadap sifat fisis dan mekanis.

## 2. METODE

### 2.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

## 2.2 Bahan dan Alat Penelitian

### 2.2.1 Bahan yang digunakan Penelitian



Gambar 2. Base Metal Tembaga



Gambar 3. Base Metal Kuningan

### 2.2.2 Alat yang digunakan Penelitian



Gambar 4. Mesin Milling



Gambar 5. Mesin Uji



Gambar 6. Alat Foto Struktur Mikro



Gambar 7. Alat Uji  
Kekerasan





Gambar 8. Mesin Grinding and Polish



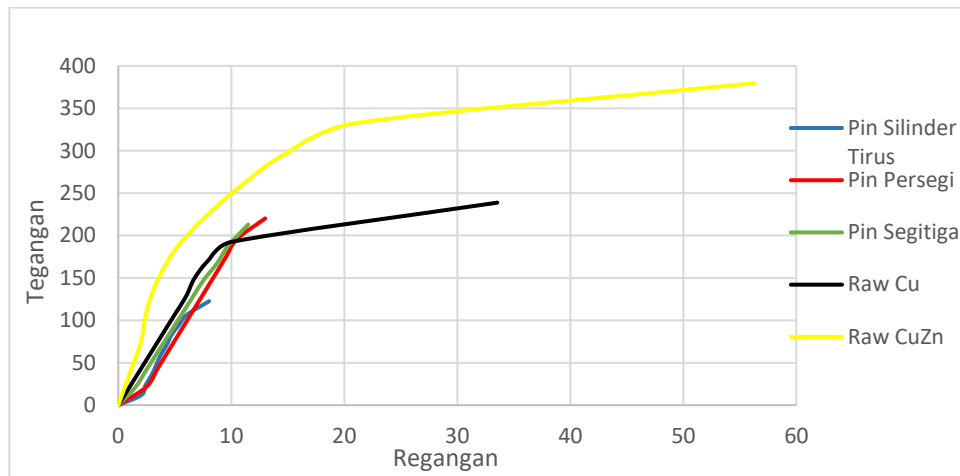
Gambar 9. Penampang pin

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

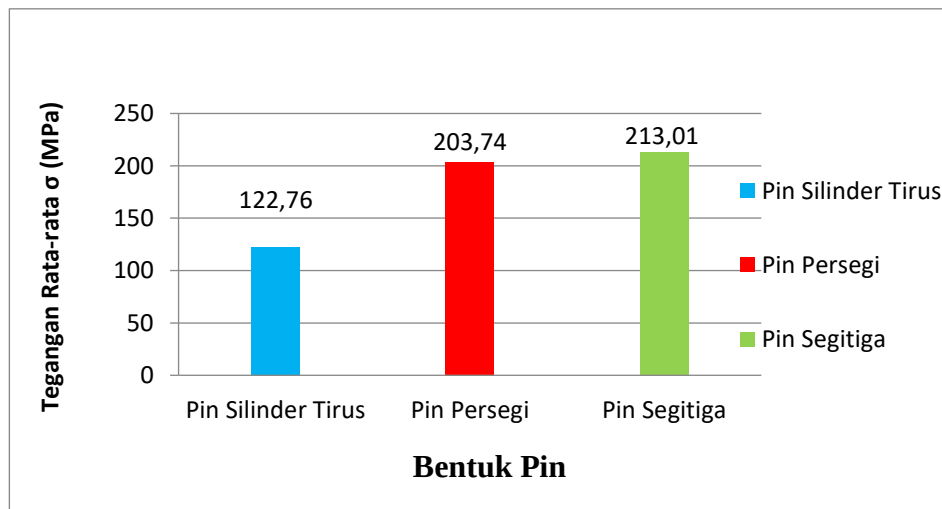
#### 3.1 Data Hasil Pengujian Tarik dan Pembahasannya

Tabel 1. Data Hasil Pengujian Tarik

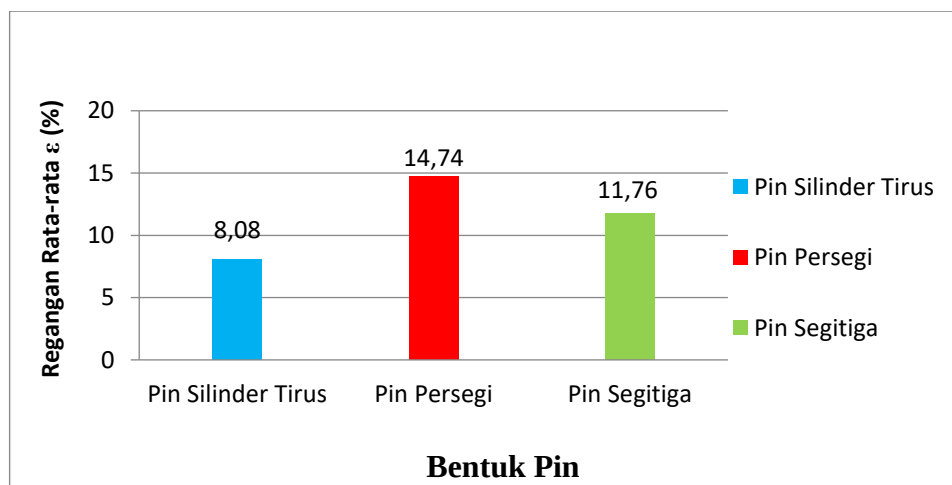
| No | Variasi Pin           | P <sub>max</sub><br>(N) | Tegangan,<br>$\sigma$ (MPa) | Tegangan<br>rata-rata<br>$\sigma$ (MPa) | Regangan<br>Maksimal<br>(%) | Regangan<br>rata-rata<br>(%) |
|----|-----------------------|-------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| 1  | Pin Silinder<br>Tirus | 4490                    | 135,25                      | 122,76                                  | 9,12                        | 8,05                         |
| 2  |                       | 4730                    | 176,51                      |                                         | 9,94                        |                              |
| 3  |                       | 1780                    | 56,23                       |                                         | 5,10                        |                              |
| 4  | Pin Persegi           | 7500                    | 221,43                      | 203,74                                  | 17,12                       | 14,76                        |
| 5  |                       | 7620                    | 227,02                      |                                         | 17,52                       |                              |
| 6  |                       | 5890                    | 162,42                      |                                         | 9,64                        |                              |
| 7  | Pin Segitiga          | 5420                    | 162,42                      | 213,01                                  | 9,12                        | 11,76                        |
| 8  |                       | 7400                    | 249,84                      |                                         | 11,40                       |                              |
| 9  |                       | 7540                    | 226,77                      |                                         | 14,76                       |                              |
| 10 | RAW Cu                | 7960                    | 238,70                      | 238,70                                  | 33,82                       | 33,82                        |
| 11 | RAW CuZn              | 14300                   | 379,63                      | 378,63                                  | 57,00                       | 57,00                        |



Gambar 10. Grafik Tegangan - Regangan



Gambar 11. Histogram tegangan tarik terhadap variasi bentuk penampang pin



Gambar 12. Histogram regangan terhadap variasi bentuk penampang pin

Gambar 12 menunjukkan hasil uji tarik dari berbagai variasi bentuk penampang *pin tool* dan *raw material*, dimana bentuk *pin tool* silinder tirus mendapatkan nilai tegangan rata-rata sebesar 122,66 MPa dan regangan rata-rata sebesar 8,05% sedangkan bentuk penampang *pin tool* persegi mendapatkan nilai tegangan rata-rata sebesar 203,01MPa dan nilai regangan rata-rata 14,76%. Sedangkan bentuk penampang *pin tool* segitiga mendapatkan nilai tegangan rata-rata sebesar 153,42 MPa dan regangan rata-rata sebesar 11,76%. Nilai kekuatan tarik tertinggi pada bentuk penampang *pin tool* segitiga yaitu sebesar 213,01 MPa dan nilai kekuatan tarik terendah terdapat pada penampang *pin tool* silinder yaitu sebesar 122,66 MPa.

### 3.2 Data Hasil Pengujian Kekerasan dan Pembahasannya

Tabel 2. Hasil Pengujian Kekerasan Mikro *Vickers* Penampang Pin Silinder

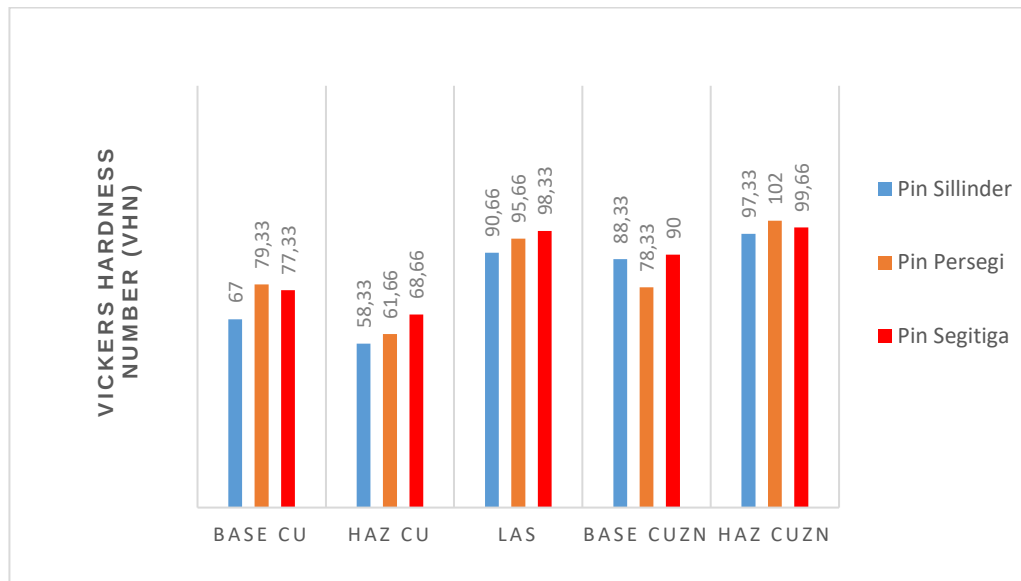
| No | Variasi Pin | Daerah    | D Rata-rata ( $\mu\text{m}$ ) | Kekerasan (VHN) | VHN Rata-rata |
|----|-------------|-----------|-------------------------------|-----------------|---------------|
| 1  | Sillinder   | Las       | 63                            | 93              | 90,66         |
| 2  |             |           | 65                            | 88              |               |
| 3  |             |           | 64                            | 91              |               |
| 4  |             | Haz-CuZn  | 62                            | 96              | 97,33         |
| 5  |             |           | 60                            | 103             |               |
| 6  |             |           | 60                            | 93              |               |
| 7  |             | Base-CuZn | 67                            | 83              | 88,33         |
| 8  |             |           | 64                            | 91              |               |
| 9  |             |           | 64                            | 91              |               |
| 10 |             | Haz-Cu    | 79                            | 59              | 58,33         |
| 11 |             |           | 80                            | 58              |               |
| 12 |             | Base-Cu   | 80                            | 58              | 67            |
| 13 |             |           | 74                            | 67              |               |
| 14 |             |           | 75                            | 66              |               |
| 15 |             |           | 74                            | 68              |               |

Tabel 3. Hasil Pengujian Kekerasan Mikro *Vickers* Penampang Pin Segitiga

| No | Variasi Pin | Daerah    | D Rata-rata ( $\mu\text{m}$ ) | Kekerasan (VHN) | VHN Rata-rata |
|----|-------------|-----------|-------------------------------|-----------------|---------------|
| 1  | Segitiga    | Las       | 62                            | 96              | 98,33         |
| 2  |             |           | 60                            | 103             |               |
| 3  |             |           | 62                            | 96              |               |
| 4  |             | Haz-CuZn  | 58                            | 110             | 99,66         |
| 5  |             |           | 62                            | 96              |               |
| 6  |             |           | 63                            | 93              |               |
| 7  |             | Base-CuZn | 65                            | 88              | 90            |
| 8  |             |           | 64                            | 91              |               |
| 9  |             |           | 64                            | 91              |               |
| 10 |             | Haz-Cu    | 75                            | 66              | 68,66         |
| 11 |             |           | 72                            | 72              |               |
| 12 |             |           | 74                            | 68              |               |
| 13 |             | Base-Cu   | 68                            | 79              | 77,33         |
| 14 |             |           | 70                            | 76              |               |
| 15 |             |           | 69                            | 77              |               |

Tabel 4. Hasil Pengujian Kekerasan Mikro *Vickers* Penampang Pin Sillinder

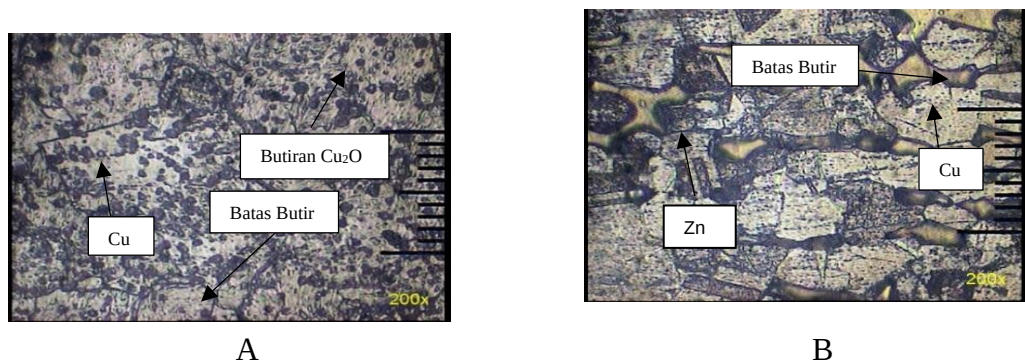
| No | Variasi Pin | Daerah    | D Rata-rata ( $\mu\text{m}$ ) | Kekerasan (VHN) | VHN Rata-rata |
|----|-------------|-----------|-------------------------------|-----------------|---------------|
| 1  | Persegi     | Las       | 64                            | 91              | 95,66         |
| 2  |             |           | 61                            | 100             |               |
| 3  |             |           | 62                            | 96              |               |
| 4  |             | Haz-CuZn  | 60                            | 102             | 102           |
| 5  |             |           | 60                            | 103             |               |
| 6  |             |           | 61                            | 100             |               |
| 7  |             | Base-CuZn | 69                            | 78              | 78,33         |
| 8  |             |           | 68                            | 80              |               |
| 9  |             |           | 69                            | 77              |               |
| 10 |             | Haz-Cu    | 78                            | 61              | 61,66         |
| 11 |             |           | 80                            | 58              |               |
| 12 |             |           | 75                            | 66              |               |
| 13 |             | Base-Cu   | 70                            | 76              | 79,33         |
| 14 |             |           | 69                            | 78              |               |
| 15 |             |           | 66                            | 84              |               |



Gambar 13. Histogram nilai kekerasan terhadap bentuk penampang pin

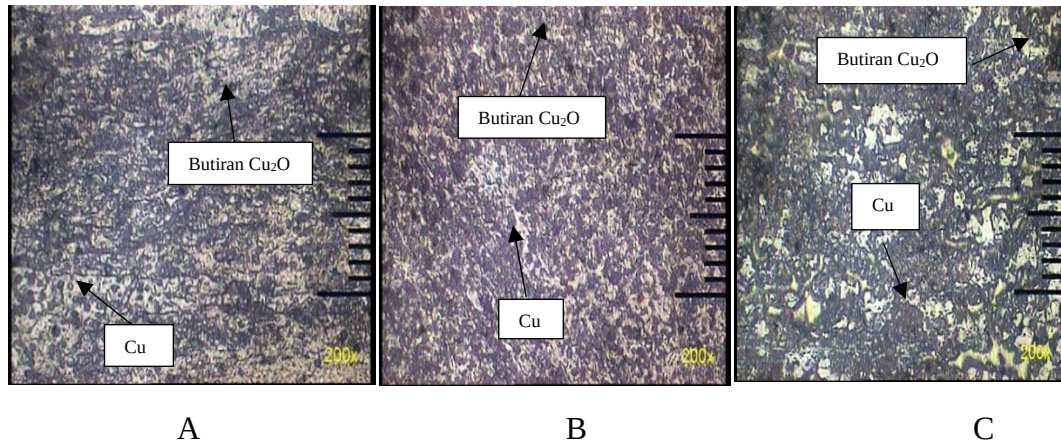
Dari histogram nilai kekerasan (VHN) diatas menunjukkan spesimen yang dilas *friction stir welding* menggunakan penampang *pin tool* segitiga tingkat kekerasan paling tinggi dibagian las (*weld nugget*) yang memiliki nilai kekerasan 98,33 VHN, untuk daerah HAZ Cu dan Haz CuZn dengan nilai kekerasan 88,66 VHN dan 102 VHN, pada daerah *base metal* Cu dan *Base metal* CuZn dengan nilai kekerasan 79,33 VHN dan 90 VHN. Hal ini dikarenakan spesimen yang dilas menggunakan penampang *pin tool* segitiga mempunyai struktur mikro dengan butir yang lebih kecil dan merata di bagian weld nugget dibanding spesimen bagian weld nugget yang dilas menggunakan pin tool silinder tirus dan bentuk penampang *pin tool* persegi.

### 3.3 Hasil Foto Struktur Mikro dan Pembahasannya

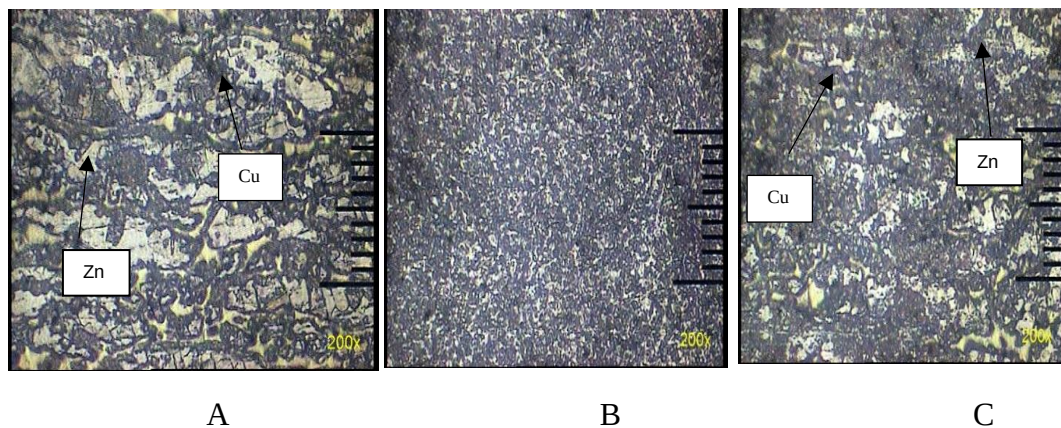


Gambar 14. struktur mikro base metal (A) Tembaga dan (B) Kuningan

Daerah *base metal* adalah daerah *unaffected* yang terletak jauh dari pusat lasan, sehingga material tidak mengalami deformasi dan perubahan struktur mikro. Bentuk butir pada daerah *base metal* Tembaga yaitu berbentuk cenderung pipih dan halus, sedangkan base metal kuningan cenderung butirannya besar. Bentuk butir ini terjadi akibat proses perlakuan *cold working* pada saat proses pembuatannya.



Gambar 15. Foto Struktur Mikro HAZ tembaga (A) Pin Sillinder tirus, (B) Pin Persegi, (C) Pin Segitiga

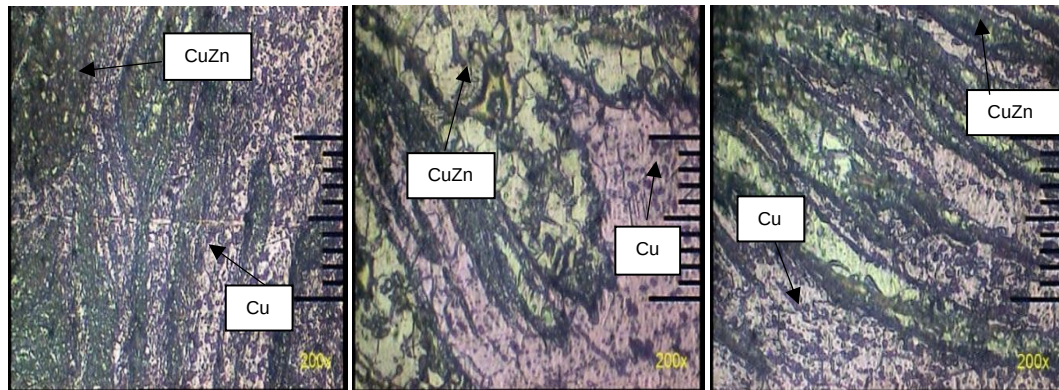


Gambar 16. Struktur Mikro HAZ Kuningan (A) Pin Sillinder tirus, (B) Pin Persegi, (C) Pin Segitiga

Daerah HAZ adalah daerah yang mengalami siklus termal tetapi tidak mengalami deformasi plastis. Struktur mikro pada daerah HAZ yang ditunjukkan pada gambar diatas terlihat perubahan ukuran butir menjadi lebih lebih kecil dan lebih rapat butirannya. HAZ *Cu* pin persegi dan pin sillinder merata pada semua bagian dan memiliki ukuran butir yang sangat kecil. Pada daerah HAZ *CuZn* yang



menggunakan pin persegi memiliki butiran yang kecil. Hal ini dikarenakan pada pin persegi memiliki 4 sisi sehingga pada proses pengelasan terjadi pengadukan yang merata.



A B C  
Gambar 17. Struktur Mikro las Kuningan dan Tembaga (A) Pin Sillinder Tirus (B) Pin Persegi (C) Pin Segitiga

Zona *Weld nugget* adalah daerah yang terdampak oleh panas yang dihasilkan saat pengelasan dan juga daerah yang terdeformasi akibat proses pengadukan dari pin *tool joint*. Pada daerah *weld nugget* terjadi *grain refinement*, maksudnya adalah daerah yang mengalami deformasi plastis dan pemanasan selama proses FSW sehingga menghasilkan rekrstalisasi yang menghasilkan butiran halus di daerah pengadukan. Proses *friction stir welding* menggunakan *pin tool* dengan bentuk segitiga menghasilkan struktur mikro yang lebih halus dibandingkan dengan menggunakan *pin tool* bentuk silinder tirus atau persegi. Butiran yang halus memiliki struktur yang lebih rapat sehingga ikatan antar atomnya lebih kuat, pada *weld nugget* pengelasan *friction stir welding* terlihat butiran tembaga menyatu, ini menunjukkan bahwa terjadi deformasi plastis selama pengelasan *friction stir welding* dengan *pin tool* bentuk segitiga.

#### 4. PENUTUP

##### 4.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian tentang pengaruh bentuk penampang *pin tool* yang berbeda terhadap sambungan las tembaga similiar dengan ketebalan 3 mm menggunakan metode *friction stir welding* dapat disimpulkan sebagai berikut :

- 1) Hasil kekuatan tarik pada bentuk penampang *pin tool* segitiga memiliki kekuatan tarik tertinggi yaitu sebesar 213,01 MPa, sedangkan yang terendah pada bentuk penampang *pin tool* silinder sebesar 122,66 MPa. Nilai regangan terbesar terjadi pada bentuk penampang *pin tool* persegi sebesar 14,76% dan yang terendah pada bentuk penampang *pin tool* silinder tirus sebesar 8,05%.
- 2) Nilai kekerasan yang terendah pada bentuk penampang *pin tool* silinder dengan nilai kekerasan di daerah *weld nugget* sebesar 90,66 VHN sedangkan kekerasan yang paling tertinggi di pusat las pada bentuk penampang *pin tool* segitiga sebesar 98,33 VHN .
- 3) Proses *friction stir welding* menggunakan *pin tool* dengan bentuk persegi menghasilkan struktur mikro yang halus. *pin tool* bentuk silinder atau segitiga lebih cenderung butirannya besar.

## DAFTAR PUSTAKA

- American Society for Metals Handbook Committee, 2004,. *Welding, Brazing, and Soldering, Volume 06*, ASM International, The Materials Information Company
- American Society for Metals Handbook Committee, 2004,. *Metallography and Microstructures, Volume 09*, ASM International, The Materials Information Company.
- American Society for Testing and Material, 1997,. *Standart Test Methods for Tension Testing of Metallic Material*, ASTM, E8M-04
- American Society for Testing and Material, 1997, *Standart Test Methods for Microindentation Hardness of Material*, ASTM, E92
- Bagus , Septian. , 2014, *Makalah Fisika Bahan Proses Difusi Zat Padat*, Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Callister, William D. 2009, *Material Science and Engineering an Introduction . Material Introduction*
- Edward, Z., Hendropasetyo, W., 2013, *Pengaruh Bentuk Probe Pada Tool shoulder Terhadap Almunium Seri 5083 Dengan Proses Friction Stir Welding*, JURNAL TEKNIK POMITS Vol. 2 No 1
- Groover, M.P, 1992, *Metalurgi Mekanik*, PT. Erlangga, Jakarta.
- 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



- Irfan Helmi. Tarmizi., 2017, *Pengaruh bentuk pin terhadap sifat mekanik aluminium 5083 H112 Hasil proses friction stir welding*, Balai Logam dan Mesin Bandung.
- Mehrer, Helmut. 2007, *Diffusion In solids*. Munster. Springer
- Mishra, R.S., dan Mahoney, M.W., 2007, *Friction Stir Welding And Processing Material Science And Engineering*, [www.asminternational.org](http://www.asminternational.org)
- Park, H.W., Kimura, T., Murakami, T., 2003, *Microstructure And Mechanical Properties Of Friction Stir Welds Of 60% Cu-40% Zn Copper Alloy*, Material science and Engineering A, <https://doi.org/10.1016/j.msea.2003.11.030>
- Schumann, 1983, *Metallographie VEB Deutsche Verlag fur Grundstoffindustrie*, Leipzig
- Purwanto A. Wing Hendroprasetyo Akbar Putra, “Pengaruh Diameter Pin Terhadap Kekuatan dan Kualitas Joint Line Pada Proses Friction stir welding Aluminium Seri 5083 Untuk Pre-Fabrication Panel Bangunan Atas Kapal,” pp. 1-6, 2013.
- Rajamukar,S.,Balasubramanian, V.,2012, *Correlation Between Weld Nugget Grain Size, Weld Nugget Hardness, and Tensile Strenght of Friction Stir Welded Commercial Grade Aluminum Alloy Joints*” Material and design 34:242-251
- Sugito, B., Anggono, A.D., Prasetyana, D., 2016, “Pengaruh Kedalaman Pin (Depth Plunge) terhadap Kekuatan Sambungan Las pada Pengelasan Gesek AL 5083”, Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Triyoko, D., 2016, “Analisa Sifat Mekanik dan Struktur Mikro pada Sambungan Las Beda Properties Aluminium dengan Metode Friction Stir Welding, Tugas Akhir S-1, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Wiryosumarto, H., Okumura, T., 2000, *Teknologi Pengelasan Logam*, Jakarta : PT Pradya Paramita.
- Purwanto A. Wing Hendroprasetyo Akbar Putra., “Pengaruh Diameter Pin Terhadap Kekuatan dan Kualitas Joint Line Pada Proses Friction stir welding Aluminium Seri 5083 Untuk Pre-Fabrication Panel Bangunan Atas Kapal, pp. 1-6, 2013