

**ANALISA PENGARUH PERLAKUAN PANAS ANNEALING DAN
NORMALIZING HASIL PENGELASAN METODE *FRICTION STIR
WELDING* (FSW) PADA ALUMINIUM ALLOY 2024 TERHADAP SIFAT
FISIS DAN MEKANIS**



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

Oleh:

BAYU ADIT SETYAWAN

D 200 140 021

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2019**

HALAMAN PERSETUJUAN

ANALISA PENGARUH PERLAKUAN PANAS *ANNEALING* DAN
NORMALIZING HASIL PENGELASAN METODE *FRICTION STIR*
WELDING (FSW) PADA *ALUMINIUM ALLOY 2024* TERHADAP SIFAT
FISIS DAN MEKANIS
PUBLIKASI ILMIAH

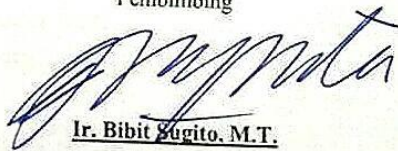
Oleh:

BAYU ADIT SETYAWAN

D 200 140 021

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen
Pembimbing



Ir. Bibit Sugito, M.T.

NIDN.0616106001

HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISA PENGARUH PERLAKUAN PANAS *ANNEALING* DAN
NORMALIZING HASIL PENGELASAN METODE *FRICTION STIR
WELDING* (FSW) PADA *ALUMINIUM ALLOY 2024* TERHADAP SIFAT
FISIS DAN MEKANIS OLEH**

BAYU ADIT SETYAWAN

D 200 140 021

**Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Pada hari Kamis, 17 Januari 2019
dan dinyatakan telah memenuhi syarat**

Dewan Penguji:

1. Ir. Bibit Sugito, M.T.

(Ketua Dewan Penguji)

2. Nurmuntaha Agung Nugraha, S.T., Pg.Dip.

(Anggota I Dewan Penguji)

3. Ir. Masyrukan, M.T.

(Anggota II Dewan Penguji)





Dekan

Dr. Sri Sunarjono, M.T., Ph.D.

NIK.682

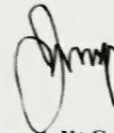
PERNYATAAN

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 diatas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 17 Januari 2019

Penulis



Bayu Adit Setvawan

D 200 140 021

**ANALISA PENGARUH PERLAKUAN PANAS ANNEALING DAN
NORMALIZING HASIL PENGELASAN METODE *FRICTION*
STIRWELDING (FSW) PADA ALUMINIUM ALLOY 2024 TERHADAP
SIFAT FISIS DAN MEKANIS**

Abstrak

Dalam penelitian ini, bertujuan untuk mengetahui pengaruh perlakuan panas Annealing dan Normalizing hasil pengelasan metode Friction Stir Welding (FSW) pada Aluminium Alloy 2024 terhadap sifat fisis dan mekanis. Proses penyambungan logam Aluminium dilakukan melalui metode Friction Stir Welding (FSW), yaitu pengelasan memanfaatkan gesekan yang terjadi antara tool dan benda kerja yang akan disambung. Salah satu faktor yang mempengaruhi sifat fisis dan mekanis hasil pengelasan adalah perlakuan panas dengan Annealing dan Normalizing. Pengelasan metode Friction Stir Welding (FSW) menggunakan material plat Aluminium Alloy 2024 dengan ukuran $150 \times 50 \times 30$ mm dengan putaran tools 1500 rpm dan feed rate 60 mm/menit. Hasil pengelasan diberi perlakuan panas Annealing dan Normalizing untuk mengetahui sifat fisis dan mekanis dari sambungan pengelasan metode Friction Stir Welding pada Aluminium Alloy 2024. Dari hasil pengujian tarik didapatkan tegangan tarik maksimum terdapat pada spesimen Normalizing yaitu sebesar 220,45 MPa dan regangan maksimum diperoleh oleh spesimen Raw sebesar 11,21 Mpa. Dari hasil uji kekerasan Brinell didapatkan hasil tertinggi pada tiap zona las antara lain daerah Nugget sebesar 65,6 BHN pada spesimen Normalizing, HAZ sebesar 58 BHN pada spesimen Raw, dan Base sebesar 68,2 BHN pada spesimen Raw. Dari pengamatan struktur mikro terdapat daerah terang yang merupakan fasa Al dan daerah gelap yang merupakan fasa Al_2Cu .

Kata kunci: Friction Stir Welding, Aluminium Alloy 2024, Heat Treatment, Annealing, Normalizing.

Abstract

In this research, to determine the effect of heat treatment by annealing and normalizing on the result of friction stir welding (FSW) method of aluminium alloy 2024 to physical and mechanical properties. The process of joining aluminium metal research can be done through the Friction Stir Welding (FSW) method which is welding utilizing the friction that occurs between the tool and the workpiece to be joined. One of the factors that influences the physical and mechanical properties of welding results is the process of heat treatment by annealing and normalizing. Material that used to friction stir welding (FSW) is plate of aluminium alloy 2024 with the dimension is $150 \times 50 \times 30$ mm was carried out with a tool rotation of 1500 rpm and feed rate of 60 mm / minute. The results of friction stir welding gave to heat treatment by annealing and normalizing to knew the physical and mechanical properties to joining of Aluminium Alloy 2024. From the results of Tensile Testing, the maximum tensile stress was found in Normalizing specimens which were equal to 220.45 MPa and the maximum strain obtained by Raw specimens was 11.21

MPa. From the results of the Brinell hardness test, the highest yield for each part of the weld included the Nugget area of 65.6 BHN in Normalizing, HAZ specimens of 58 BHN in Raw, and Base specimens of 68.2 BHN in Raw specimens. From the observation of the micro structure, there is a bright area which is the Al phase and the dark area which is the Al₂Cu phase.

Keywords: Friction Stir Welding, Aluminium Alloy 2024, Heat Treatment, Annealing, Normalizing.

1.PENDAHULUAN

Di era sekarang ini, berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi menuntut industri manufaktur untuk meningkatkan hasil produksi yang berkualitas dan biaya produksi yang rendah. Persaingan produksi industri manufaktur menuntut kebutuhan akan teknik baru yang mampu mengakomodir semua tuntutan. 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.

Bibit Sugito, dkk (2016), menyebutkan bahwa 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.

Dalam kaitannya untuk meningkatkan kualitas produksi yang unggul dan biaya rendah, pada tahun 1991 Wayne Thomas dari TWI (*The Welding Institute*) menemukan salah satu metode *Solid State Welding* (SSW) dimana metode tersebut proses pengelasan memanfaatkan gesekan yang terjadi antara *tool* dan benda kerja yang akan disambung atau lebih dikenal dengan metode *Friction Stir Welding* (FSW).

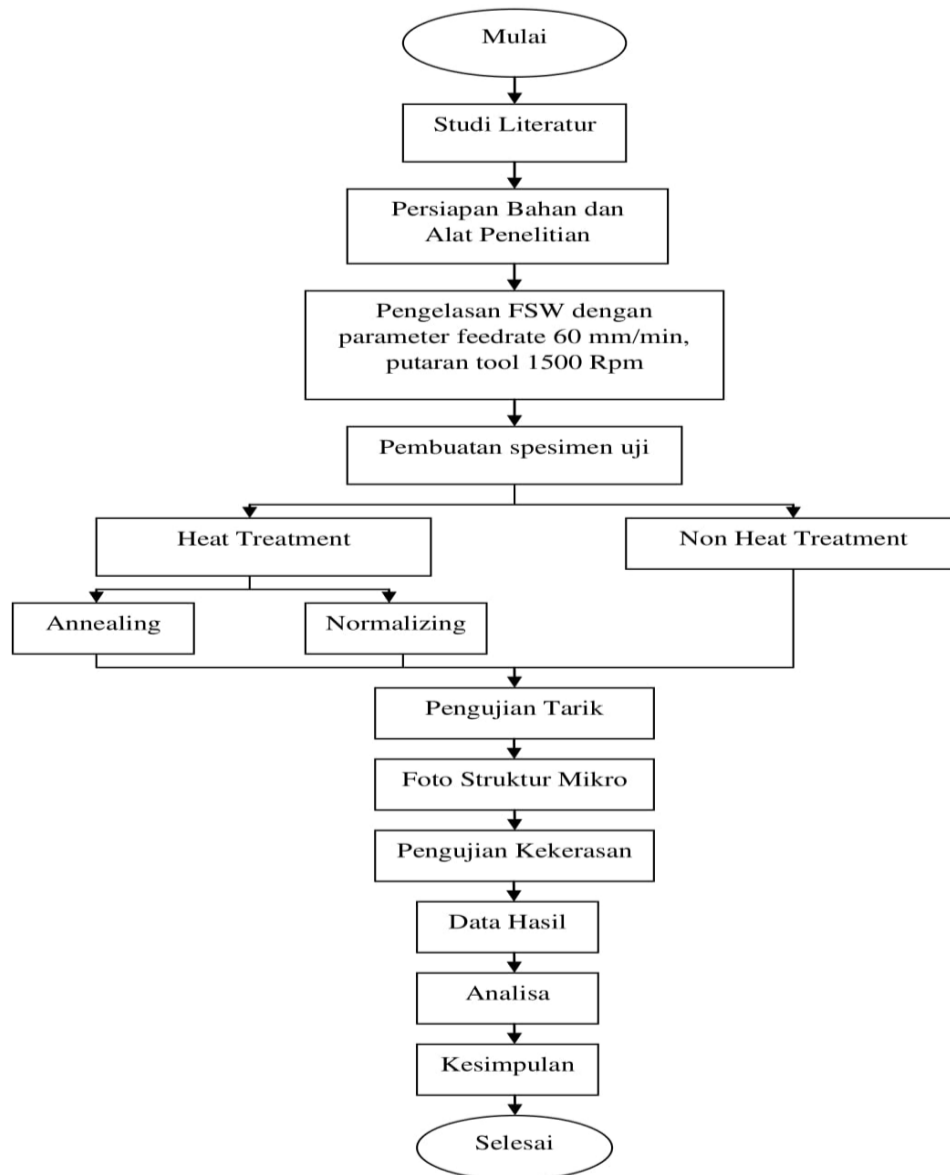
Friction Stir Welding (FSW) sering diaplikasikan pada *similar* logam aluminium atau pada *dissimilar* logam. Dalam proses *Friction Stir Welding* (FSW) harus memperhatikan beberapa parameter, seperti: putaran *tool* (rotational speed), kecepatan pengelasan (*welding speed*), kedalaman penetrasi tool (*tool deep plunge*), sudut kemiringan tool terhadap benda kerja, dan bentuk/profil dari pin. Pemilihan parameter FSW yang tepat, maka didapatkan kekuatan sambungan akan meningkat dan cacat pengelasan dapat diminimalkan (Idhar Haris S, 2018).

Namun, selain dengan pemilihan parameter FSW yang tepat juga perlunya proses lanjutan berupa *heat treatment* untuk memperoleh kualitas hasil sambungan yang lebih baik. Proses *heat treatment* adalah suatu proses pemanasan dan pendinginan yang terkontrol, dengan tujuan mengubah sifat fisik dan sifat mekanis dari suatu bahan atau logam sesuai dengan yang diinginkan. (Kamenichny, 1969: 74). Proses dalam *heat treatment* meliputi *heating*, *holding*, dan *cooling*.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh hasil FSW pada sambungan logam aluminium dengan penambahan perlakuan panas terhadap kekuatan tarik, kekuatan kekerasan, dan struktur mikro hasil FSW. Dari penelitian ini, penulis berharap akan mendapat sebuah kesimpulan mengenai sifat mekanik dan struktur mikro pengelasan FSW pada material *Aluminium Alloy 2024*.

2. METODE

Kegiatan penelitian ini dilakukan sesuai dengan diagram alir berikut ini:



Gambar 1. Diagram alir penelitian

2.1 Alat dan Bahan Penelitian

2.1.1 Bahan yang digunakan antara lain:



Gambar 2. Pelat Aluminium Alloy 2024

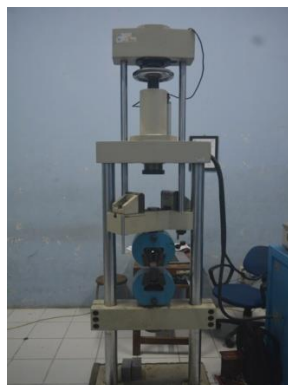
2.1.2 Alat yang digunakan antara lain:



Gambar 3. Mesin Milling Universal



Gambar 4. Furnance



Gambar 5. Alat Uji Tarik



Gambar 6. Alat Uji Kekerasan



Gambar 7. Tool



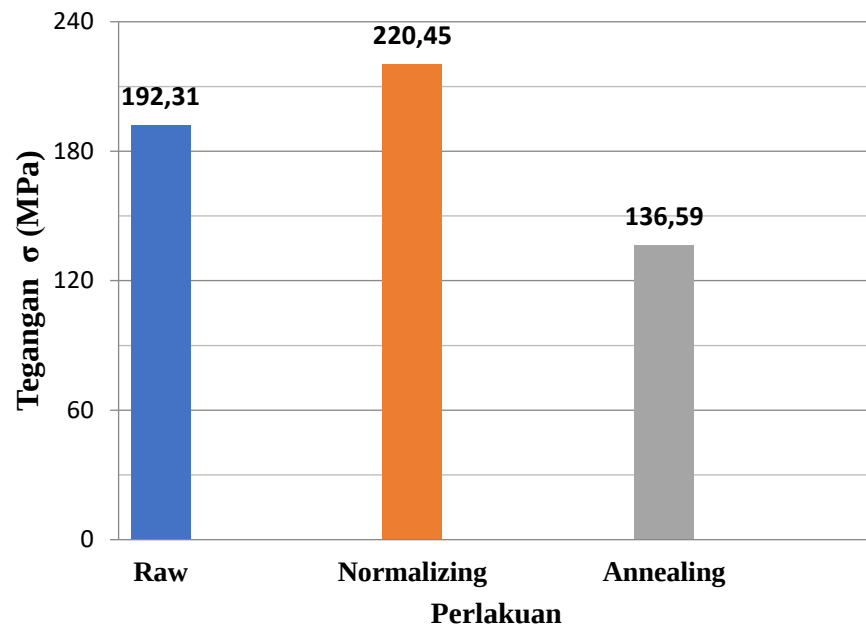
Gambar 8. Alat Uji Struktur Mikro

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data Hasil Pengujian Tarik dan Pembahasannya

Tabel 1. Tegangan Hasil Uji Tarik

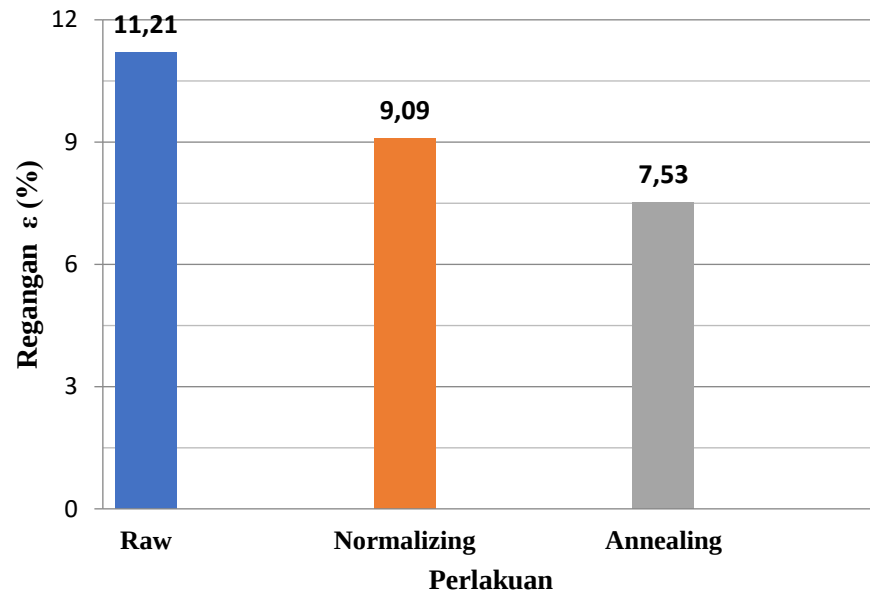
No	Perlakuan	P Maks (N)	A (mm ²)	Tegangan, σ (MPa)	Tegangan rata-rata, σ (MPa)
1	Raw	7870	40.43	194.66	192.31
2		7810	39.93	195.59	
3		7630	40.87	186.69	
4	Normalizing	7580	37.27	203.39	220.45
5		8280	48.59	170.39	
6		8900	30.95	287.56	
7	Annealing	4670	37.99	122.91	7.53
8		5980	40.10	149.13	
9		5620	40.80	137.73	



Gambar 9. Histogram Perbandingan Hasil Nilai Tegangan Tarik

Tabel 2. Regangan Hasil Uji Tarik

Perlakuan	Δl (mm)	Regangan, ϵ (%)	Regangan rata-rata, ϵ (%)
Raw	7.57	15.14	11.21
	5.03	10.06	
	4.21	8.42	
Normalizing	3.83	7.66	9.09
	4.42	8.84	
	5.38	10.76	
Annealing	2.95	5.90	7.53
	3.23	6.46	
	5.11	10.22	



Gambar 10. Histogram Perbandingan Hasil Nilai Regangan Tarik

Dari Histogram tegangan tarik menunjukkan bahwa nilai tegangan tarik rata-rata tertinggi pada *normalizing* material yaitu sebesar 220,45 MPa. Untuk nilai tegangan tarik rata-rata terendah pada *annealing* material yaitu sebesar 136,59 MPa. Tinggi rendahnya nilai hasil pengelasan FSW yang diuji tarik disebabkan Aluminium Alloy 2024 itu sendiri tergolong aluminium heat treatable alloy yaitu jenis aluminium paduan yang dapat menerima hasil perlakuan panas sehingga adanya perbedaan antara *raw*, *normalizing* dan *annealing* material.

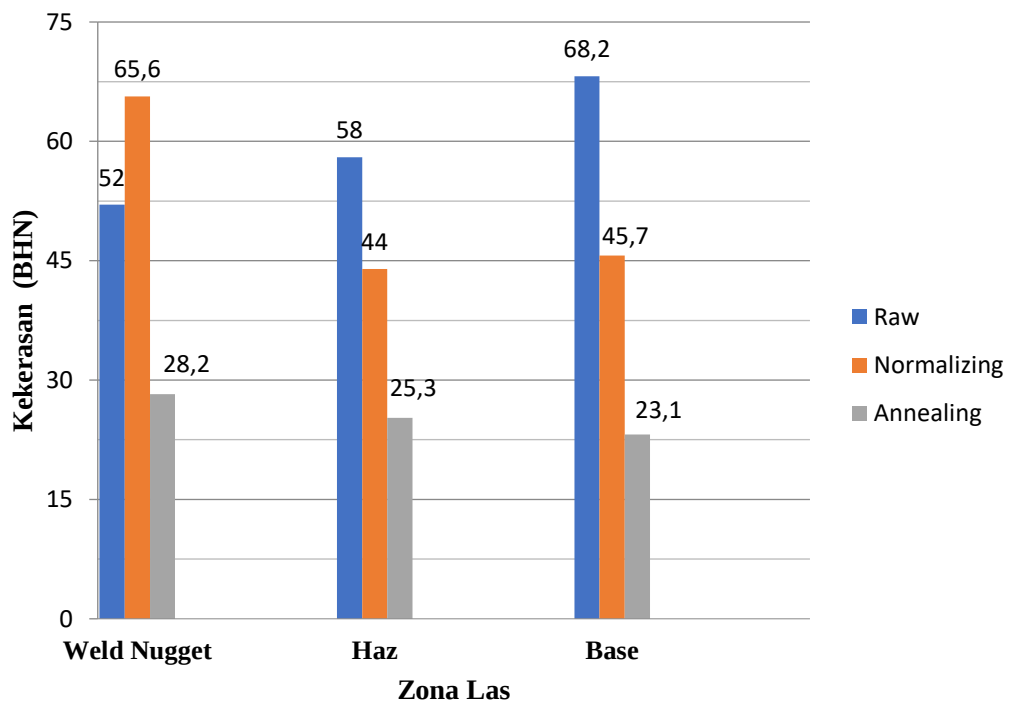
Dari Histogram regangan tarik menunjukkan bahwa nilai regangan tarik rata-rata tertinggi pada *raw material* yaitu sebesar 11,21%. Untuk nilai regangan tarik rata-rata terendah pada *annealing*

material yaitu sebesar 7,53%. Tinggi rendahnya nilai regangan dikarenakan pertambahan panjang (Δl), jadi apabila pertambahan panjang (Δl) makin tinggi maka nilai regangannya juga semakin tinggi.

3.2 Data Hasil Uji Kekerasan dan Pembahasannya

Tabel 3. Data Hasil Pengujian Nilai Kekerasan

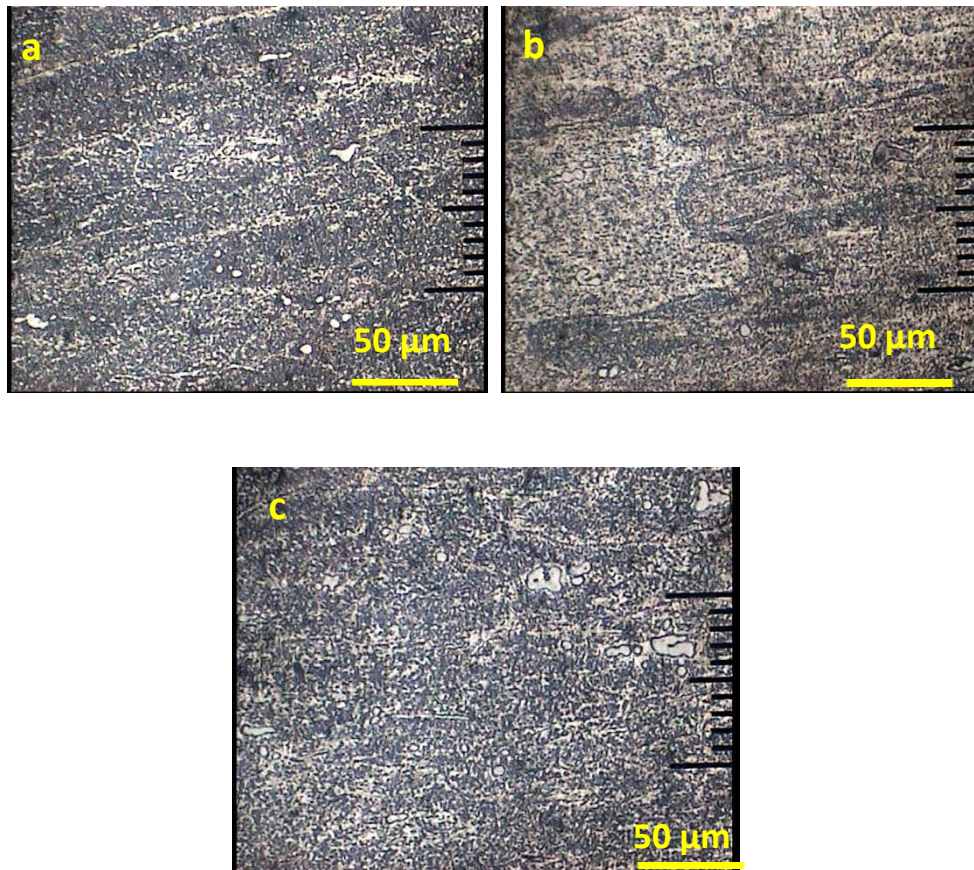
No	Perlakuan	Zona	Diameter (mm)	Kekerasan (BHN)	Kekerasan rata-rata (BHN)
1	Raw	Weld Nugget	0.64	47.8	52.0
2			0.62	51.6	
3			0.59	56.7	
4		HAZ	0.55	64.4	58.0
5			0.59	56.7	
6			0.61	52.9	
7		Base	0.52	72.0	68.2
8			0.54	68.2	
9			0.55	64.4	
1	Normalizing	Weld Nugget	0.54	68.2	65.6
2			0.55	64.4	
3			0.55	64.4	
4		HAZ	0.64	47.8	44.0
5			0.68	42.7	
6			0.69	41.4	
7		Base	0.62	51.6	45.7
8			0.68	42.7	
9			0.68	42.7	
1	Annealing	Weld Nugget	0.84	27.4	28.2
2			0.80	29.9	
3			0.84	27.4	
4		HAZ	0.86	26.1	25.3
5			0.88	24.8	
6			0.88	24.8	
7		Base	0.90	23.6	23.1
8			0.93	22.3	
9			0.90	23.6	



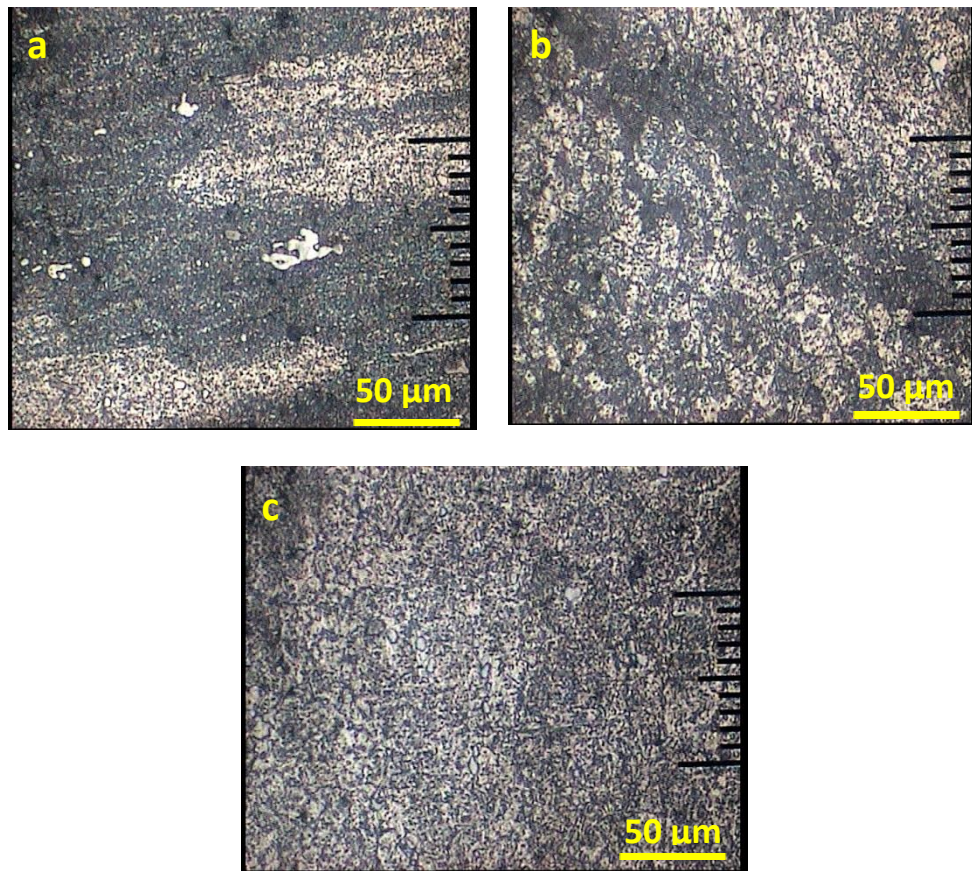
Gambar 11. Histogram Perbandingan Hasil Nilai Kekerasan

Dari data hasil pengujian kekerasan *Brinell*, pada *weld nugget* didapat nilai kekerasan tertinggi pada *normalizing* material sebesar 65,6 BHN. Pada daerah HAZ didapat nilai kekerasan tertinggi pada *raw* material sebesar 58 BHN. Serta pada daerah base metal didapat nilai kekerasan tertinggi pada *raw* material sebesar 68,2 BHN. Secara umum, nilai kekerasan rata-rata hasil pengelasan *Friction Stir Welding* (FSW) yang dilakukan perlakuan panas mengalami penurunan dibanding spesimen *raw*, karena pengaruh perlakuan panas mempengaruhi struktur mikro butiran menjadi lebih besar dibanding tanpa perlakuan panas sehingga terjadi perbedaan hasil nilai kekerasan *Brinell*.

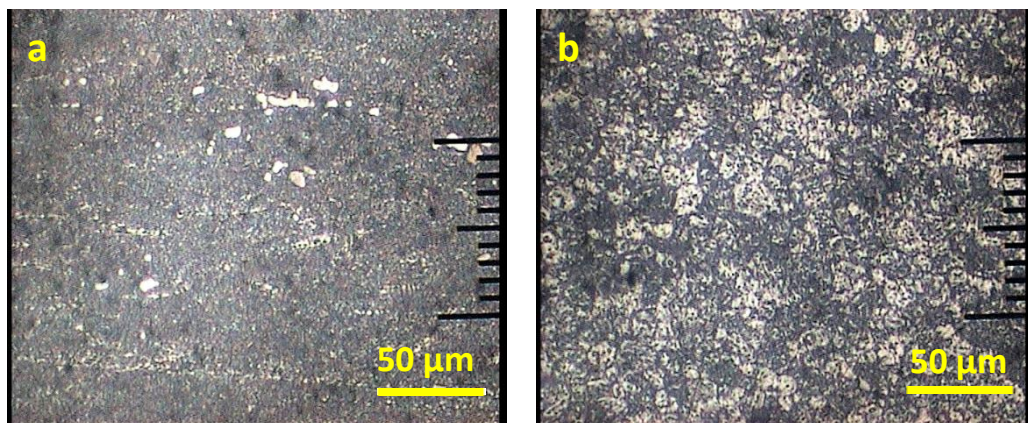
3.3 Hasil Foto Struktur Mikro dan Pembahasannya

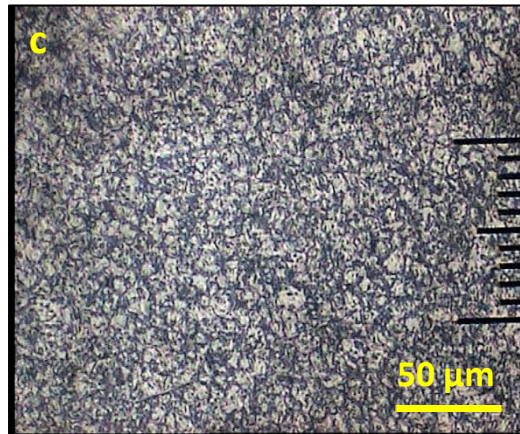


Gambar 12. Struktur Mikro daerah *Base Metal* (a) *Raw*, (b) *Normalizing*, (c) *Annealing*



Gambar 13. Struktur Mikro daerah HAZ (a) *Raw*, (b) *Normalizing*, (c) *Annealing*





Gambar 14. Struktur Mikro daerah *weld nugget* (a) *Raw*, (b) *Normalizing*, (c) *Annealing*

Base metal adalah daerah yang tidak terpengaruh pengelasan baik itu panas maupun adukan. Struktur mikro Al – Cu terdiri dari struktur mikro Al dan Al_2Cu (ASM Handbook Vol 9, 2004 :1691- 1692). Dari pengamatan struktur mikro spesimen tanpa perlakuan panas (*Raw*), *normalizing*, dan *annealing* terlihat adanya daerah gelap dan daerah terang. Daerah yang gelap menunjukkan fasa Al_2Cu dan daerah yang terang menunjukkan fasa Al. Daerah terang merupakan fasa α (fasa Al) dan daerah gelap merupakan fasa θ (fasa Al_2Cu), sedangkan butiran berwarna gelap adalah persipitat.

Daerah HAZ adalah 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 (*grain size*) dimana perubahan ukurannya tergantung dari karakteristik material, suhu, lama pemanasan, dan laju pendinginan.

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 rekristalisasi yang menghasilkan

butiran halus di daerah pengadukan. Dari foto struktur mikro daerah *weld nugget* spesimen *Raw* memiliki perbedaan struktur mikro dibanding dengan material yang diberi perlakuan panas *normalizing* dan *annealing* yang membuat fasa Al_2Cu terkonsentrasi pada satu posisi dan meninggalkan fasa Al serta ukuran butir Al_2Cu menjadi lebih besar dan tidak merata. Perubahan posisi dari fasa Al_2Cu dan Al serta perbedaan ukuran butir terjadi karena spesimen telah mengalami perlakuan panas. Bentuk butir yang sudah mengalami perlakuan panas tidak akan bisa kembali ke kondisi butir sebelum menerima perlakuan panas.

4. PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa data yang telah dilakukan, bisa diambil kesimpulan sebagai berikut :

- 1) Berdasarkan analisa perlakuan panas pada pengelasan FSW terhadap sifat fisis dan mekanis diperoleh data pengujian tarik, menunjukkan bahwa pada pengelasan FSW tanpa perlakuan panas (*Raw*) memiliki nilai tegangan tarik sebesar 192,31 MPa dan nilai regangan tertinggi sebesar 11,21%. Pada *normalizing* material memiliki nilai tegangan tarik tertinggi sebesar 220,45 MPa dan nilai regangan sebesar 9,09%. Serta pada *annealing* material didapat nilai tegangan tarik terendah sebesar 136,59 MPa dan juga nilai regangan terendah yaitu sebesar 7,53%.
- 2) Dari data pengujian kekerasan pada *weld nugget* didapat nilai kekerasan tertinggi pada *normalizing* material sebesar 65,6 BHN. Pada daerah HAZ didapat nilai kekerasan tertinggi pada *raw* material sebesar 58 BHN. Serta pada daerah base metal didapat nilai kekerasan tertinggi pada *raw* material sebesar 68,2 BHN.
- 3) Dari hasil foto struktur mikro setelah proses pengelasan FSW material mengalami perubahan butir dikarenakan beberapa faktor antara lain karakteristik material, suhu, laju pengelasan, dan adukan saat proses

pengelasan berlangsung. Di samping itu perlakuan panas juga sangat mempengaruhi bentuk butiran pada material.

4.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, penulis menyarankan beberapa hal antara lain :

- 1) Saat proses pengelasan diharapkan menggunakan kelengkapan keselamatan demi menunjang penelitian.
- 2) Literatur dan referensi diharapkan untuk lebih dipelajari demi menunjang penelitian selanjutnya.
- 3) Menentukan parameter pengelasan yang tepat.
- 4) Perlunya menentukan tempat dan waktu yang tepat dalam melaksanakan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- American Society for Metals Handbook Committee. 1990. *Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials*, Volume 02. ASM International. The Materials Information Company.
- American Society for Metals Handbook Committee. 1991. *Heat Treating*, Volume 04. ASM International. The Materials Information Company.
- American Society for Testing and Materials. 2003. *Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Material*, ASTM, E8M-04.
- American Society for Metals Handbook Committee. 2004. *Metallography and Microstructures*, Volume 09. ASM International. The Materials Information Company.
- AZO Materials – California Metal & Supply, Inc. 2012. Aluminium / Aluminium Alloy 2024 (UNS A92024), <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=6615>, diakses pada 21 September 2018 pukul 12.00 WIB.

- Budinski, Kenneth G. 1999. *Engineering Materials: Properties and Selection*, 6th edition. New Jersey: Upper Saddle River.
- Duniawan, Agus. 2016. *Pengaruh PostWeld Heat Treatment pada Pengelasan Friction Stir Welding (FSW) Aluminium 2024*. Jurusan Teknik Mesin IST AKPRIND: Yogyakarta.
- Kristianto, Eko. 2017. *Analisis Sifat Mekanik dan Struktur Mikro pada Sambungan Las Aluminium dengan Variasi Filler Menggunakan Metode Friction Stir Welding*. Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.
- Popov, E.P. 1983. *Mekanika Teknik (Mechanics of Materials, 2nd Edition)*. Jakarta: PT. Gelora Aksara Pratama.
- Pourali, Masoumeh, Zadeh, Amir Abdollah, dkk. 2017. *Influence of welding parameters on intermetallic compounds formation in dissimilar steel/aluminum friction stir welds*. Tarbiat Modares University and Sahand University of Technology: Iran.
- Rochman R, Hariyati P, Purbo C. 2010. *Karakterisasi Sifat Mekanik dan Pembentukan Fasa Presipitat pada Aluminium Alloy 2024-T₈₁ Akibat Perlakuan Penuaan*. Jurusan Teknik Material dan Metalurgi: Institut Teknologi Surabaya.
- Sugito, B., Anggono, A. D., Prasetyana, D., 2016, “Pengaruh Kedalaman Pin (Depth Plunge) Terhadap Kekuatan Sambungan Las pada Pengelasan Gesek AL 5083”.
- Surdia, Tata., dan Shinroku Saito. 1997. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarata: PT. Pradnya Paramita.
- Triyoko, Dedy. 2016. *Analisis Sifat Mekank dan Struktur Mikro pada Sambungan Las Beda Properties Aluminium dengan Metode Friction Stir Welding*. Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.