

**ANALISA PENGARUH PERLAKUAN PANAS ANNEALING DAN
NORMALIZING HASIL PENGELASAN METODE FRICTION
STIR WELDING (FSW) PADA ALUMINIUM ALLOY SERI 5052
TERHADAP SIFAT FISIS DAN MEKANIS**



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

Oleh:

ADITYA QOMARUDIN

D 200 140 055

**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 SERI 5052 TERHADAP
SIFAT FISIS DAN MEKANIS**

PUBLIKASI ILMIAH

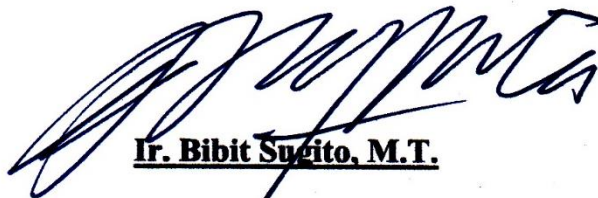
Oleh:

ADITYA QOMARUDIN

D 200 140 055

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 SERI 5052 TERHADAP SIFAT FISIS DAN MEKANIS

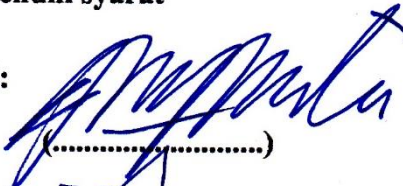
OLEH

ADITYA OOMARUDIN
D 200 140 055

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. Ir. Sunardi Wiyono, M.T.
(Anggota I Dewan Penguji)
3. Wijianto, ST.M EngSc.
(Anggota II Dewan Penguji)


(.....)

(.....)

(.....)



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

NIK.682

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam naskah publikasi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya diatas, maka akan saya pertanggung jawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 17 Januari 2019

Penulis



Aditya Oomarudin

D 200 140 055

ANALISA PENGARUH PERLAKUAN PANAS ANNEALING DAN NORMALIZING HASIL PENGELASAN METODE FRICTION STIR WELDING (FSW) PADA ALUMINIUM ALLOY SERI 5052 TERHADAP SIFAT FISIS DAN MEKANIS

Abstrak

Friction Stir Welding (FSW) adalah proses pengelasan yang memanfaatkan panas akibat putaran tool bergesekan dengan logam induk dibawah tekanan aksial yang besar pada daerah pengelasan sehingga dapat menghasilkan sambungan. Metode pengelasan *friction stir welding* dapat digunakan untuk menyambungkan material yang sulit di las pada *fusion welding*. Penelitian ini untuk mengetahui pengaruh perlakuan panas *annealing* dan *normalizing* pada hasil pengelasan material aluminium sejenis AA 5052 terhadap sifat mekanik dan sifat fisis. Pada proses pengelasan ini menggunakan mesin milling dengan parameter *feedrate* 60 mm/menit, sudut kemiringan *tool* sebesar 3° dan kecepatan putaran *tool* 1500 rpm. Serta perlakuan panas *annealing* dan *normalizing* dilakukan pada suhu 345°C dengan penahanan panas didalam tungku selama 2 jam. Sifat mekanik diketahui dari pengujian tarik dan pengujian kekerasan, sifat fisis diketahui dari struktur mikro. Hasil penelitian ini didapatkan nilai kekuatan tarik pada *raw material* lebih tinggi dibanding dengan *normalizing* dan *annealing* dengan nilai tegangan rata-rata 162,54 MPa dan nilai regangan 8,61%. Nilai kekerasan tertinggi daerah *base metal* pada *raw material* sebesar 53,7 BHN, daerah HAZ dan las nilai tertinggi terjadi pada *raw material* yaitu sebesar 40,6 BHN dan 30,4 BHN. Sedangkan nilai kekerasan terendah pada semua daerah ada pada material yang di *annealing*. Struktur mikro pada daerah HAZ mengalami pertumbuhan butir akibat temperatur yang di terima selama proses pengelasan. Sedangkan pada *weld nugget* menunjukan tampilan struktur mikro yang kecil dan rapat.

Kata kunci: friction stir welding, perlakuan panas, annealing, normalizing, sifat mekanik, sifat fisis.

Abstract

Friction Stir Welding (FSW) is a welding process using heat caused by tool rotation rubbing with main metal under big axial pressure at welding area resulting joint. The friction stir welding techniques is used to weld materials, which are difficult to joint on fusion welding. The study is aimed to know the influence of annealing heat and normalizing on the result of material welding of aluminum type AA 5052 on the mechanical and physical characteristics. The welding process uses milling machine with feed rate parameter of 60 mm/minutes, tool elevation angle is 3° and the tool rotation speed of 1500 rpm. The annealing heat treatment and normalizing are performed at temperature of 345°C with heat endurance in fireplace for 2 hours. The mechanical trait is revealed by test of pulling and hardness, while the physical trait is known by micro structure. The result of the study shows that the pulling power score on raw material is higher

than normalizing and annealing with average tight score of 162.54 MPa and stretch score of 8.61%. The highest score of hardness on metal base of raw material is 53.7 BHN, the highest score of HAZ and welding area occur on the raw material, which is 40.6 BHN and 30.4 BHN. The lowest hardness score occurs on the entire material annealed. The micro structure of HAZ area grows dots because of accepted temperature during welding process. The weld nugget shows the small and rigid micro structure display.

Keywords: friction stir welding, heat treatment, annealing, normalizing, mechanical properties, physical properties.

1. PENDAHULUAN

Dalam dunia industri manufaktur saat ini sering kita jumpai pembuatan produk atau komponen yang membutuhkan penyambungan material baik di bidang otomotif, penerbangan, perkapalan dan lain-lain. Dan pengelasan merupakan salah satu metode penyambungan yang sering digunakan untuk penyambungan material. Di jaman modern ini banyak industri manufaktur yang mengembangkan teknik-teknik pengelasan untuk meningkatkan kualitas produk dan memangkas biaya produksi. 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 logam dapat diklarifikasikan menjadi dua kelompok, yaitu: *Liquid State Welding* (LSW) 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 pada kondisi padat atau logam tidak mencapai titik leburnya pada saat tersambung. Salah satu metode SSW adalah *Friction Stir Welding* (FSW), yaitu proses pengelasan dengan memanfaatkan panas yang timbul akibat putaran dari *tool* yang bergesekan dengan logam induk di bawah tekanan aksial yang besar pada daerah pengelasan. *Friction Stir Welding* (FSW) adalah suatu proses pengelasan baru yang ditemukan di TWI (*The Welding Institute*) pada tahun 1991.

Pengelasan FSW sering diaplikasikan pada logam *aluminium* atau pada *dissimilar* logam. Fsw sering diaplikasikan pada logam *aluminium* karena logam *aluminium* dan paduannya merupakan logam yang mempunyai sifat mampu

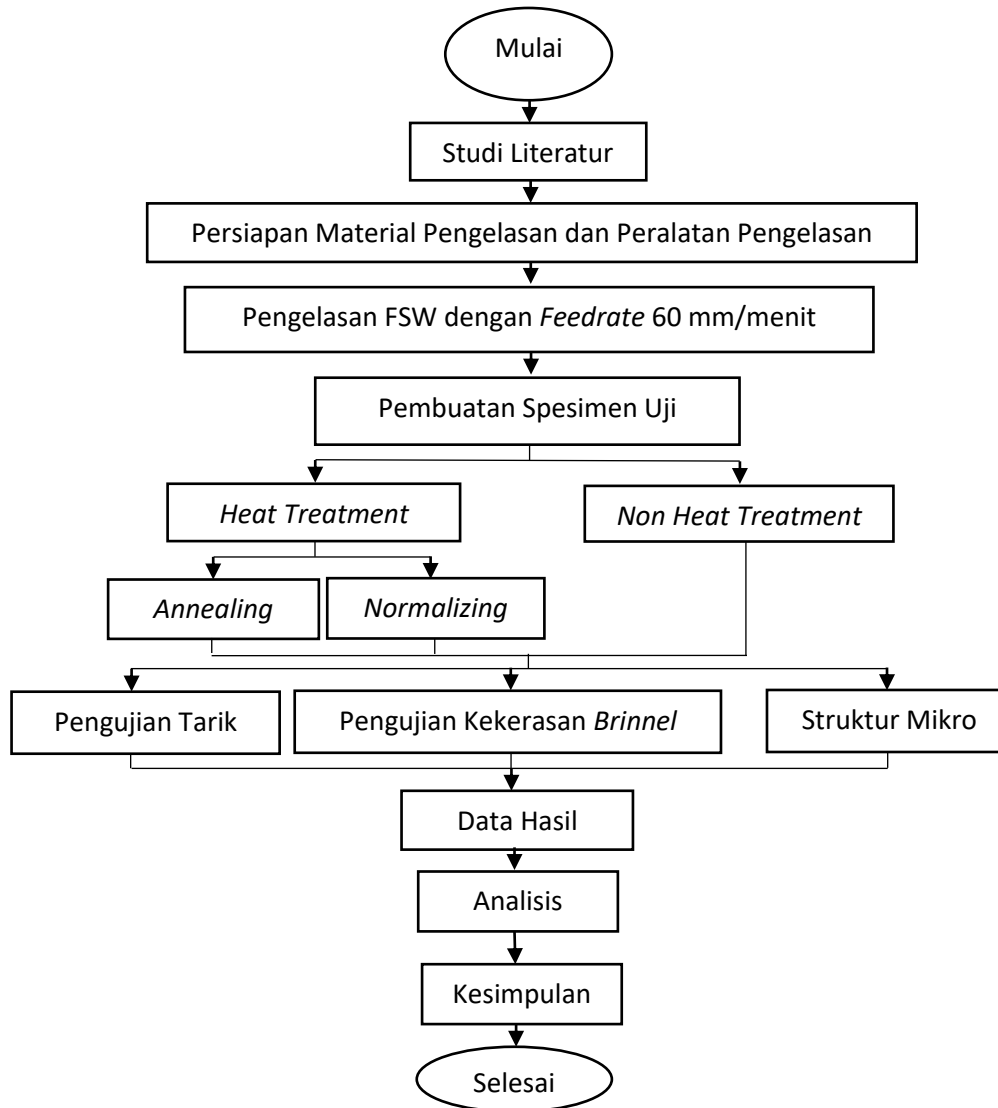
bentuk (*formability*) yang baik, kekuatan tarik relatif tinggi, tahan korosi dan sifat mekaniknya dapat ditingkatkan dengan pengerjaan atau perlakuan panas, serta mempunyai sifat mampu las (*weldability*) yang bervariasi tergantung pada jenis paduannya (Mandal,2005). Kelemahan saat proses pengelasan FSW terjadi pada sambungan las yang mengalami pelunakan dan penurunan tegangan tarik akibat proses rekristalisasi di *nugget zone* selama proses pengelasan berlangsung. Pengelasan *Friction Stir Welding* (FSW) harus memerhatikan 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, dapat menghasilkan kekuatan sambungan 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). Proses dalam *heat treatment* meliputi *heating*, *colding*, 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 material AA 5052.

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 seri 5052

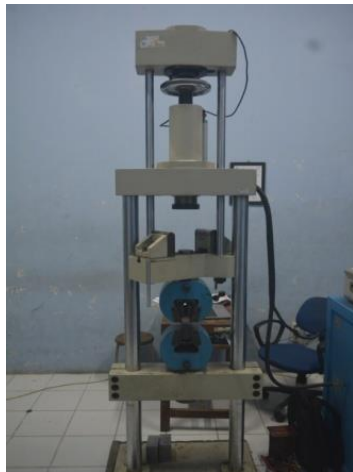
2.1.2 Alat yang digunakan antara lain:



Gambar 3. Mesin Milling Universal



Gambar 4. *Furnance*



Gambar 5. Alat Uji Tarik



Gambar 6. Alat Uji Kekerasan



Gambar 7. *Probe*



Gambar 8. Alat Uji Struktur Mikro

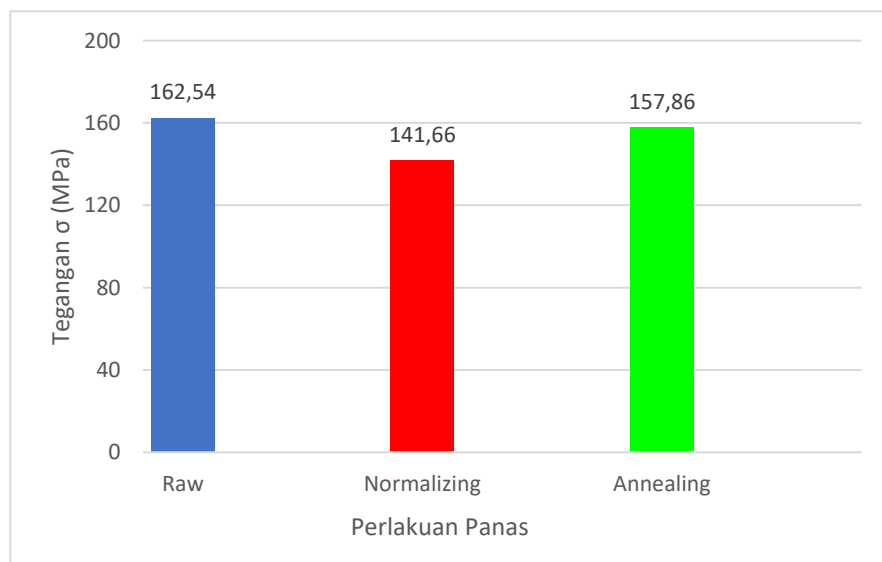
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data Hasil Pengujian Tarik dan Pembahasannya

Tabel 1. Data Hasil Pengujian Tarik

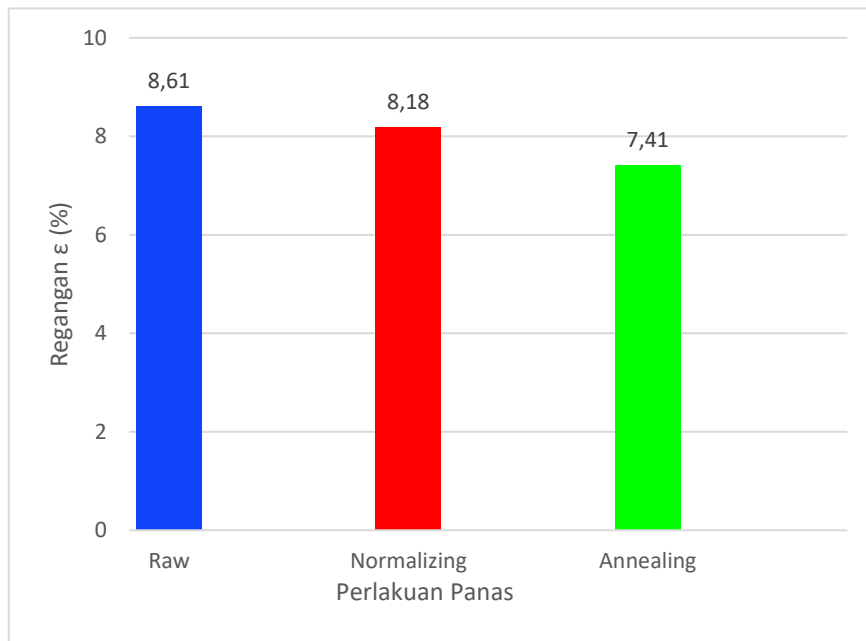
No	Perlakuan panas	P maks (N)	A (mm ²)	Tegangan σ (MPa)	Regangan ϵ (%)	Tegangan Rata-Rata (MPa)	Regangan Rata-Rata (%)
1	Raw	7970	43,33	183,94	9,08	162,54	8,61
2		7360	47,63	154,52	7,92		
3		7290	48,87	149,16	8,82		
4	Normalizing	8580	49,37	173,78	9,90	141,66	8,18
5		7250	49,83	145,50	9,12		
6		4760	45,03	105,71	5,52		
7	Annealing	7610	46,83	162,49	7,76	157,86	7,41
8		7170	47,36	151,40	6,64		
9		7750	48,53	159,70	7,82		

a. Tegangan



Gambar 9. Histogram Perbandingan Hasil Nilai Tegangan Tarik

b. Regangan



Gambar 10. Histogram Perbandingan Hasil Nilai Regangan Tarik

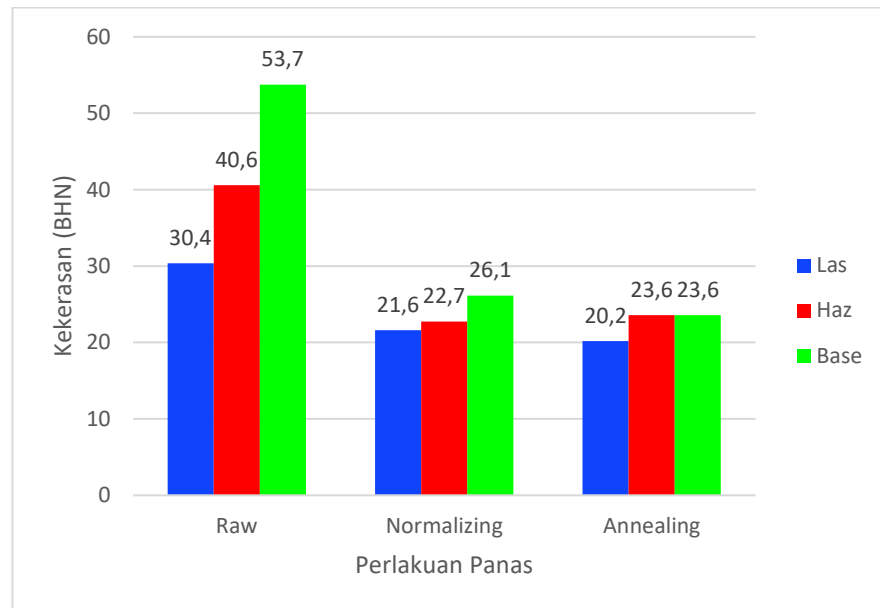
Dari histogram tegangan hasil pengujian tarik menunjukkan bahwa tegangan tarik hasil pengelasan *friction stir welding aluminium alloy 5052* memiliki nilai yang berbeda. Nilai tegangan tarik yang tertinggi pada spesimen yang tidak di heat treatment (raw) dengan nilai tegangan tarik 162,54 MPa dan pada spesimen yang di normalizing mempunyai nilai terendah 157,86 MPa. Hal ini terjadi karena aluminium alloy seri 5052 termasuk aluminium non heat treatable alloys dan patahan di daerah weld nugget dengan patahan tegak lurus dari arah pembebanan.

Dari histogram regangan tarik menunjukkan bahwa nilai regangan tarik yang terbesar pada spesimen yang tidak di heat treatment (raw) dengan nilai regangan 8,61% sedangkan pada spesimen yang di heat treatment *normalizing* mempunyai nilai regangan 8,18% dan pada spesimen yang di *annealing* mempunyai nilai regangan tekecil 7,41%. Hal ini terjadi karena aluminium alloy seri 5052 termasuk aluminium non heat treatable alloys yaitu tidak dapat menerima perlakuan panas.

3.2 Data Hasil Uji Kekerasan dan Pembahasannya

Tabel 3. Data Hasil Pengujian Nilai Kekerasan

No	Perlakuan	Daerah	Diameter (mm)	Kekerasan (BHN)	Kekerasan Rata-Rata (BHN)
1	Raw	Las	0,73	36,3	30,4
2			0,84	27,4	
3			0,84	27,4	
4		Haz	0,73	36,3	40,6
5			0,68	42,7	
6			0,68	42,7	
7		Base	0,64	47,8	53,7
8			0,59	56,7	
9			0,59	56,7	
1	Normalising	Las	0,90	23,7	21,6
2			0,96	20,8	
3			0,97	20,3	
4		Haz	0,90	23,6	22,7
5			0,93	22,3	
6			0,93	22,3	
7		Base	0,84	27,4	26,1
8			0,86	26,1	
9			0,88	24,8	
1	Annealing	Las	0,95	21,0	20,2
2			0,98	19,7	
3			0,98	19,7	
4		Haz	0,93	22,3	23,6
5			0,90	23,6	
6			0,88	24,8	
7		Base	0,93	22,3	23,6
8			0,90	23,6	
9			0,88	24,8	



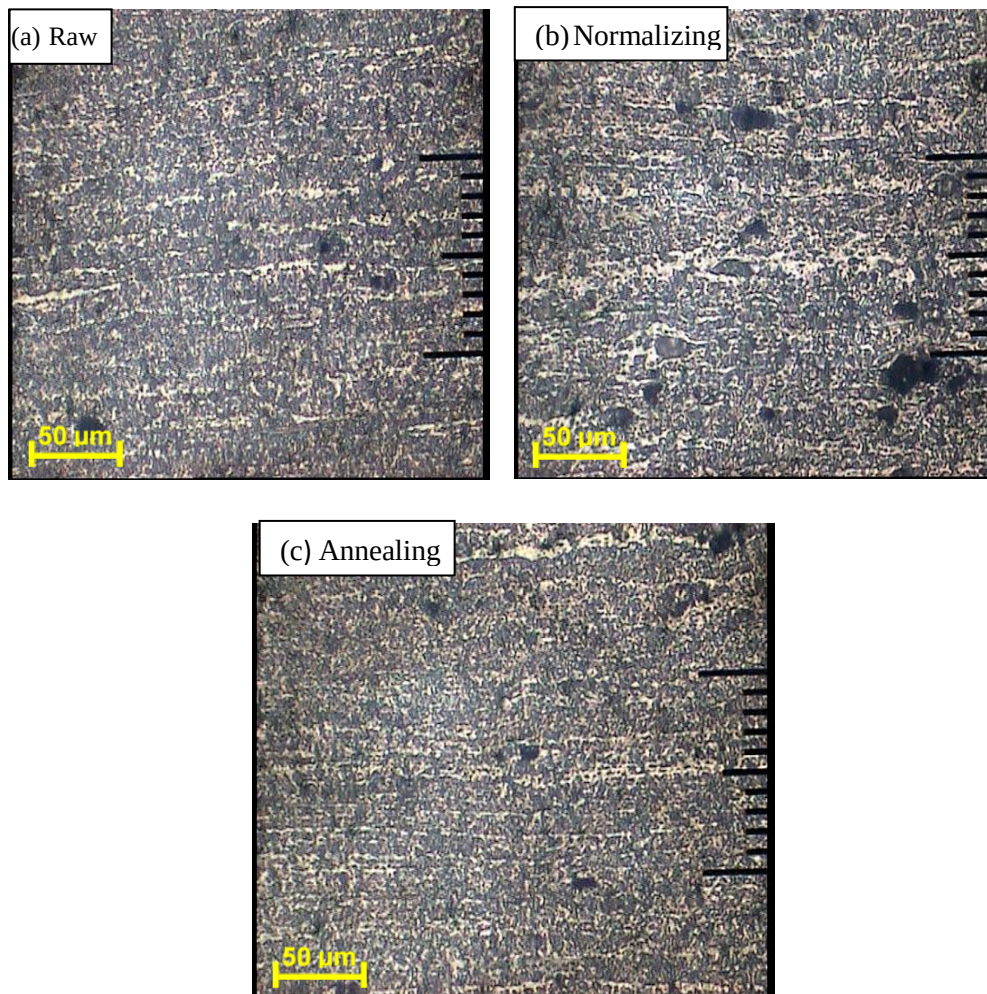
Gambar 11. Histogram Perbandingan Hasil Nilai Kekerasan

Dari histogram diatas menunjukkan bahwa nilai kekerasan pada setiap variabel perlakuan panas maupun tanpa perlakuan panas pada hasil pengelasan Friction Stir Welding (FSW) Alumunium Alloy 5052 memiliki nilai kekerasan yang berbeda pada setiap bidang ujinya. Nilai kekerasan rata-rata tertinggi untuk daerah base yaitu pada material raw sebesar 53,7 BHN. Sedangkan nilai kekerasan rata-rata terendah adalah annealing yaitu sebesar 23,6 BHN. Kemudian untuk daerah HAZ rata-rata tertinggi adalah raw material yaitu sebesar 40,6 BHN, sedangkan untuk nilai kekerasan rata-rata terendah adalah normalizing sebesar 22,7 BHN. Kemudian untuk bagian las nilai kekerasan rata-rata tertinggi adalah material raw yaitu sebesar 30,4 BHN, sedangkan untuk nilai kekerasan rata-rata las terendah pada annealing sebesar 20,2 BHN.

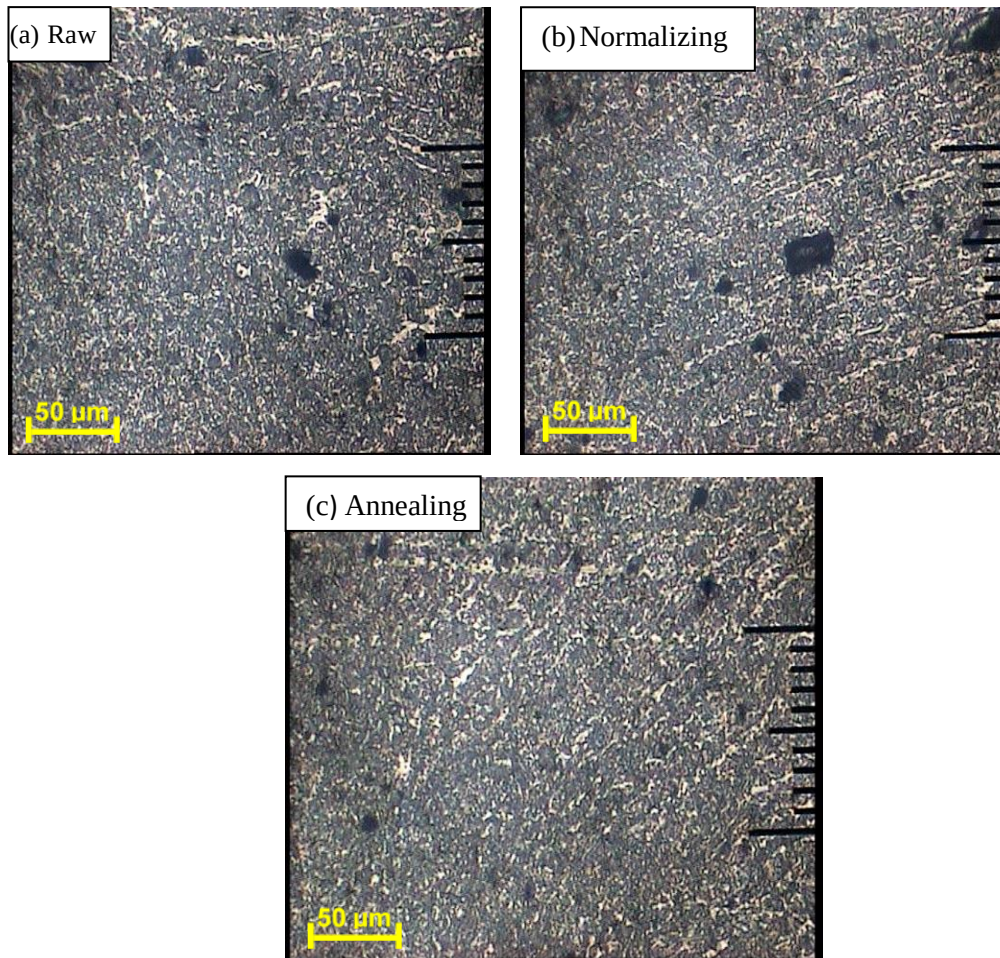
Dimana, nilai kekerasan rata-rata hasil pengelasan Friction Stir Welding (FSW) yang dilakukan perlakuan panas (heat treatment) mengalami penurunan nilai kekerasan dibanding raw material, karena pada material paduan Al-Mg yang telah mengalami perlakuan panas (heat treatment) telah mengalami proses difusi yaitu telah mengalami pergerakan molekul dalam bahan dan proses ini diharapkan akan menghasilkan penyeragaman komposisi atau homogen, sedangkan

magnesium (Mg) masih berbentuk butiran mengelompok dalam hal ini disebabkan karena magnesium (Mg) merupakan unsur material kelompok non heat treatable yaitu tidak dapat dikeraskan dengan proses perlakuan panas.

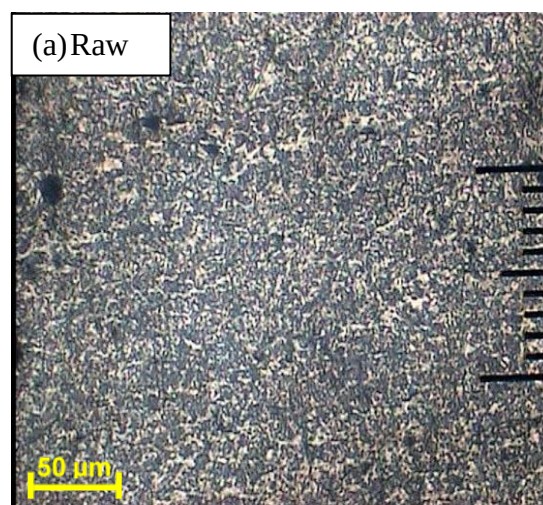
3.3 Hasil Foto Struktur Mikro dan Pembahasannya

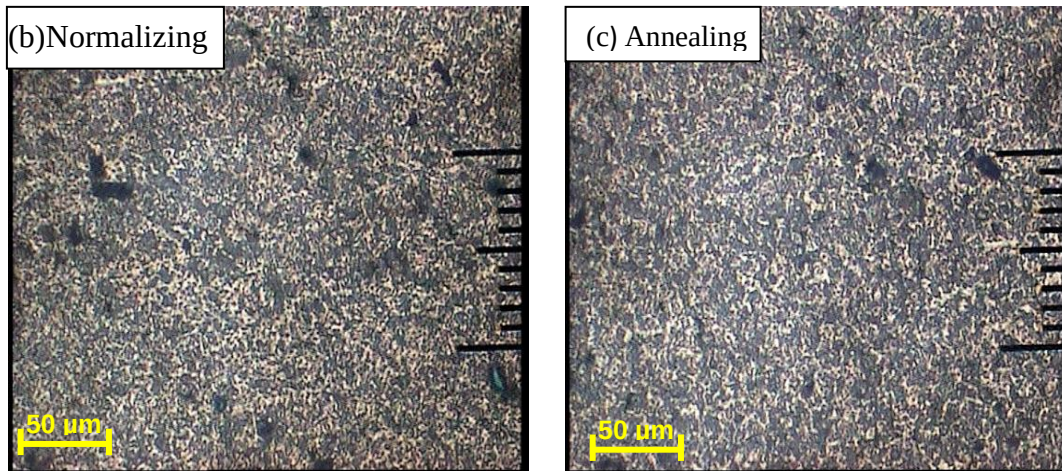


Gambar 12. Struktur mikro daerah *base metal* (a) *Raw*, (b) *Normalizing*, (c) *Annealing* dengan perbesaran 200 kali.



Gambar 13. Struktur mikro daerah HAZ (a) *Raw*, (b) *Normalizing*, (c) *Annealing* dengan perbesaran 200 kali.





Gambar 14. Struktur mikro daerah Las (a) *Raw*, (b) *Normalizing*, (c) *Annealing* dengan perbesaran 200 kali.

Dari gambar 12 sampai 14 dapat dilihat struktur mikro dari hasil pengelasan *Friction Stir Welding* (FSW) yang tidak mengalami perlakuan panas (*heat treatment*) dan mengalami perlakuan panas (*heat treatment*) berupa *annealing* dan *normalizing* pada daerah base metal, HAZ dan daerah pengelasan yang ditampilkan dalam dua fasa yaitu aluminium *solid solution* yang ditunjukkan warna putih dan fasa Mg yang ditunjukkan dengan warna hitam. Kandungan Mg sangat mempengaruhi sifat mekanik dari aluminium.

Struktur mikro daerah base metal adalah daerah yang tidak terpengaruh pengelasan baik itu panas maupun adukan, sehingga material tidak mengalami deformasi. Pada foto mikro tersebut ditampilkan dalam dua fasa yaitu fasa *aluminium* yang ditunjukkan warna putih dan fasa magnesium (Mg) yang ditunjukkan dengan warna hitam. Struktur mikro base metal yang memiliki butiran kecil sampai butiran sedang adalah pada *raw material*. Sedangkan yang memiliki butiran besar dan kasar adalah pada daerah yang mendapatkan perlakuan panas (*heat treatment*) *normalizing*, karena proses pendinginan yang cepat pada suhu ruangan, sehingga struktur tidak cukup waktu untuk berubah. Dan yang memiliki struktur butiran kecil dan halus adalah daerah yang mendapat perlakuan

annealing , karena pendinginan yang lebih lama berada didalam tungku, sehingga struktur mempunyai kesempatan untuk berubah.

Pada struktur mikro daerah HAZ adalah daerah yang mengalami siklus termal tetapi tidak mengalami deformasi plastis. Pada daerah ini juga terjadi perubahan struktur mikro. Daerah HAZ terjadi perubahan ukuran butir (*grain size*) dimana perubahan ukurannya tergantung dari karakteristik material, suhu, lama pemanasan dan laju pendinginan. Struktur mikro pada daerah HAZ yang tidak di *heat treatment* (*raw*), *normalizing*, *annealing* terlihat perubahan ukuran butir lebih banyak tetapi tidak terdeformasi secara mekanik ini terjadi karena proses *friction stir welding*.

Pada daerah *weld nugget* terjadi *grain refinement* maksudnya adalah daerah yang mengalami deformasi plastis dan pemanasan selama proses *Friction Stir Welding* (FSW) sehingga menghasilkan butiran halus di daerah pengadukan. Dari pengamatan ketiga variabel daerah las yang tidak dilakukan *heat treatment* (*raw*) dan daerah las yang dilakukan perlakuan panas *normalizing* dan *annealing* butiran nya tidak mengalami banyak perubahan, hal ini disebabkan karena material aluminium paduan Al-Mg termasuk pada material aluminium paduan yang tidak dapat menerima perlakuan panas (*non heat treatable*).

4. PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa data yang telah dilakukan, dapat diperoleh beberapa kesimpulan antara lain:

1. Dari hasil sambungan setelah pengelasan FSW *Aluminium Alloy* 5052, didapat kontur permukaan yang halus dan terdapat *weld flash* yang disebabkan adukan *shoulder* dan *pin* saat proses pengelasan.
2. Dari data pengujian tarik, menunjukan bahwa pada pengelasan FSW tanpa perlakuan panas (*raw*) memiliki nilai tegangan tarik tertinggi sebesar 162,54 MPa dan nilai regangan tertinggi sebesar 8,61%. Pada material yang dilakukan perlakuan panas *normalizing* memiliki nilai

tegangan tarik terendah sebesar 141,66 MPa dan nilai regangan sebesar 8,18%. Serta pada *Annealing* material didapat nilai tegangan tarik sebesar 157,86 MPa dan juga nilai regangan terendah yaitu sebesar 7,41%. Dari data pengujian tarik, bahwa perlakuan panas pada material *Aluminium Alloy* 5052 mampu merubah nilai tegangan tarik dan regangan pada material tersebut.

3. Dari data pengujian kekerasan, pada daerah Las (*Weld Nugget*) didapat nilai kekerasan tertinggi pada *raw* material sebesar 30,4 BHN. Pada daerah HAZ didapat nilai kekerasan tertinggi pada *Raw* material sebesar 40,6 BHN. Serta pada daerah base metal didapat nilai kekerasan tertinggi pada *Raw* material sebesar 53,7 BHN. Proses pengelasan FSW mempengaruhi nilai kekerasan di daerah *Weld Nugget* dimana daerah tersebut merupakan daerah terjadinya patahan saat diuji tarik dan perlakuan panas menyebabkan penurunan nilai kekerasan dibanding *raw* material.
4. 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. Perlakuan panas juga mempengaruhi bentuk butiran pada material AA-5052, tetapi tidak banyak mengalami perubahan dikarenakan sifat paduan Mg pada material AA-5052 yang mempunyai sifat *non heat-treatable*.

4.2 Saran

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

1. Saat proses pengelasan diharapkan menggunakan kelengkapan keselamatan demi menunjang penelitian.
2. Pastikan kerapatan sambungan material yang akan disambung, karena akan mempengaruhi kualitas hasil pengelasan.
3. Menentukan parameter pengelasan yang tepat.

DAFTAR PUSTAKA

- Adamowski, J., dan Szdoko, M. 2007. *Friction Stir Welding (FSW) of Aluminium Alloy AW6082-T6*. Volume 20. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering. International OCSCO World Press
- 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 Metals Handbook Committee, 2004, *Welding, Brazing, and Soldering*, Volume 06, 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.
- Anggono, A. D., Riyadi, T. W. B., dkk., 2018 *Influence of Tool Rotation and Welding Speed on The Friction Stir Welding of AA 1100 and AA 6061-T6*, Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Azom Materials – California Metal & Supply, Inc. 2012. Aluminium / Aluminium Alloy 5052 (UNS AA5052), <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=6615> , diakses pada 21 September 2018 pukul 12.24 WIB.
- Dawes, C, J. 1999. *Friction Stir Welding*. TALAT Lecture 4410. The Welding Institute. Cambridge.
- Gunawan, S., 2016. *Efek Perlakuan Panas Aging Terhadap Kekerasan dan Ketangguhan Impak Paduan Aluminium AA 514.0*. Jurusan Teknik Mesin STTNas Yogyakarta.
- Kamenichny, I. 1969. *A Short Handbook of Heat Treatment*. Mir Publishers. Moscow.
- Mandal. 2005. *Aluminum Welding*. 2nd ed. Narosa Publishing House. New Delhi.

- Mishra, R.S. dan Ma, Z.Y. 2005. *Friction Stir Welding and Processing*, *Journal of Materials Science and Engineering*. Science Direct.
- Moarrefzadeh, Ali. 2012. *Study of Heat Affected Zone (HAZ) in Friction Welding Process*. Iran: Journal of Mechanical Engineering.
- Nandan, R, T. DebRoy, H.K.D.H. Bhadeshia. 2008. *Recent Advances In Friction Stir Welding - Process, Weldment Structure and Properties*. Science Direct.
- 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*.
- Riswanda, Ilman, M., N., 2012, *Studi Komparasi Sambungan Las Disamilar AA 5083 - AA 6061-T6 Antara TIG dan FSW*, Industrial Research Workshop and National Seminar.
- Riyatno, Sapto. 2014. *Studi Pengelasan Friction Stir Welding Logam Tak Sejenis Antara ST.37 dan Aluminium AA 5052 dengan pin Conus dan preheat*. Surakarta : Universitas Sebelas Maret.
- Romadhona, I., 2018, *Studi Pengelasan Friction Stir Welding pada AA 1100 dengan Fe Menggunakan Variasi Feedrate 25 mm/menit, 30 mm/menit, dan 40 mm/menit*, Tugas Akhir S-1, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Saputro, Toga A., 2014, *Analisa Heat Treatment pada Aluminium Magnesium Silikon (Al-Mg-Si) dengan Silikon (1%, 3%, 5%) Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis*, Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Setiawan, Idhar. H. 2018. *Studi Pengelasan Friction Stir Welding (FSW) pada AA 6061-T6 dengan Fe Menggunakan Variasi Feedrate 30 mm/menit, 35 mm/menit, 40 mm/menit*. Jurusan Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Sidhu, Mandeep Singh. 2012. *Friction Stir Welding-Process and its Variabels; A Review*, International Journal of Emerging Technology and Advanced Engginering, India.
- Subramaniam, Senthilkumar, dkk. 2012. *Acoustic Emission-Based Monitoring Approach for Friction Stir Welding of Aluminum Alloy AA6063-T6 with Different Tool Pin*. Journal of Engineering Manufacture. Institution of Mechanical Engineering. India.

Sugito, B., Anggono, D. A., Prasetyana, D., 2016, *Pengaruh Kedalaman Pin (Depth Plunge) terhadap Kekuatan Sambungan Las pada Pengelasan Gesek AL 5083*, Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Surdia, Tata dan Saito, Shinroku. 2000. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: PT.Pradya Paramita.

Sydney, H.A.1974. *Introduction to Physical Metalurgi*. Mc Graw Hill Inc.

Prayogo, B., 2016, *Analisa Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Pada Proses Friction Stir Welding Aluminium 5052*, Bandung : Universitas Jendral Achmad Yani.

Tim Pengajar Bahan Teknik. 2011. *Materi Pembelajaran Mata Kuliah Bahan Teknik I*. Yogyakarta : Sekolah Vokasi, Universitas Gajah Mada.

Triyoko, D., 2016, *Analisa Sifat Mekanik dan Struktur Mikro pada Sambungan Las Beda Properties Aluminium dengan Metode Friction Stir Welding*, Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Wiryosumarto, H., Okumura, T., 2000, *Teknologi Pengelasan Logam*, Jakarta: PT Pradya Paramita.