

## **KARAKTERISASI SIFAT FISIS DAN MEKANIS PENGELASAN ALUMINIUM SERI AA-5052 DENGAN METODE FRICTION STIR WELDING, DENGAN FEED RATE 60 MM/MENIT PADA PUTARAN 1500 RPM DAN SUDUT KEMIRINGAN TOOLS 3<sup>0</sup> YANG DILANJUTKAN ANNEALING DAN NORMALIZING**

**Bibit Sugito**

bs110@ums.ac.id

Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Mesin  
Universitas Muhammadiyah Surakarta

**Pramuko Ilmu Purbo Putro**

pip272@ums.id

Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Mesin  
Universitas Muhammadiyah Surakarta

**Agus Dwi Anggono**

ada126@ums.id

Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Mesin  
Universitas Muhammadiyah Surakarta

**Agung Setyo Darmawan**

agung.darmawan@ums.ac.id

Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Mesin  
Universitas Muhammadiyah Surakarta

**Masyrukan**

masyrukan@ums.ac.id

Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Mesin  
Universitas Muhammadiyah Surakarta

**Aditya Qomarudin**

adityaqomarudin@gmail.com

Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Mesin  
Universitas Muhammadiyah Surakarta

### **ABSTRAK**

*Friction Stir Welding* (FSW) adalah proses pengelasan yang memanfaatkan energi 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<sup>0</sup> 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 diterima selama proses pengelasan. Sedangkan pada weld nugget menunjukkan tampilan struktur mikro yang kecil dan rapat.

**Kata kunci:** *friction stir welding*, AL 5052, *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

Pada dunia konstruksi rekayasa dan rancang bangun, penyambungan material satu dengan yang lain perlu menggunakan metode yang tepat. 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 zaman modern ini banyak industri manufaktur yang mengembangkan teknik-teknik pengelasan untuk meningkatkan kualitas produk dan memangkas biaya produksi. Pengelasan berdasarkan definisi Deutche Industri Normen (DIN) adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilakukan dalam keadaan lumer atau cair.

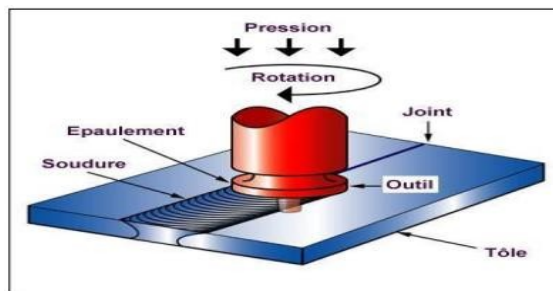
Proses pengelasan logam dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok, yaitu: *Liquid State Welding (LSW)* dan *Solid State Welding (SSW)*. LSW adalah proses pengelasan logam dengan cara mencairkan logam tersebut terlebih dahulu, sedangkan SSW merupakan proses pengelasan logam yang dilakukan pada kondisi 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 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, 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). Maka dari penjabaran dan telaah pada pendahuluan diatas. 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. FRICTION STIR WELDING (FSW)

Proses Pengelasan FSW menggunakan mesin *milling* universal dengan parameter yang digunakan dalam proses pengelasan *friction stir welding* ini adalah putaran *tool* 1500 rpm, *feedrate* 60 mm/menit dan kemiringan *tool* (*tilt angle*) 3°. Pelat aluminium seri AA-5052 diletakkan pada sisi *advancing*, sedangkan pelat aluminium seri 5052 diletakkan pada sisi *retreating*. Pengelasan dilakukan pada panjang sisi 150 mm dengan tipe sambungan *butt joint*. Gambar 1. Menjelaskan proses pengelasan dengan *friction stir welding*.



Gambar 1. proses pengelasan FSW

Teori yang mendasari proses *friction stir welding* ini, memanfaatkan gaya gesekan pada benda yang diturunkan oleh Newton. Pada umumnya gaya gesek benda yang terjadi adalah gaya gesek statis dan gaya gesek kinetis, yang ditulis dengan rumus sbb:

$$F_s : \mu_s \cdot N \quad (1)$$

Keterangan :  $F_s$  : Gaya gesek statis  
 $\mu_s$  : koefisien gesek statis  
 $N$  : Gaya normal

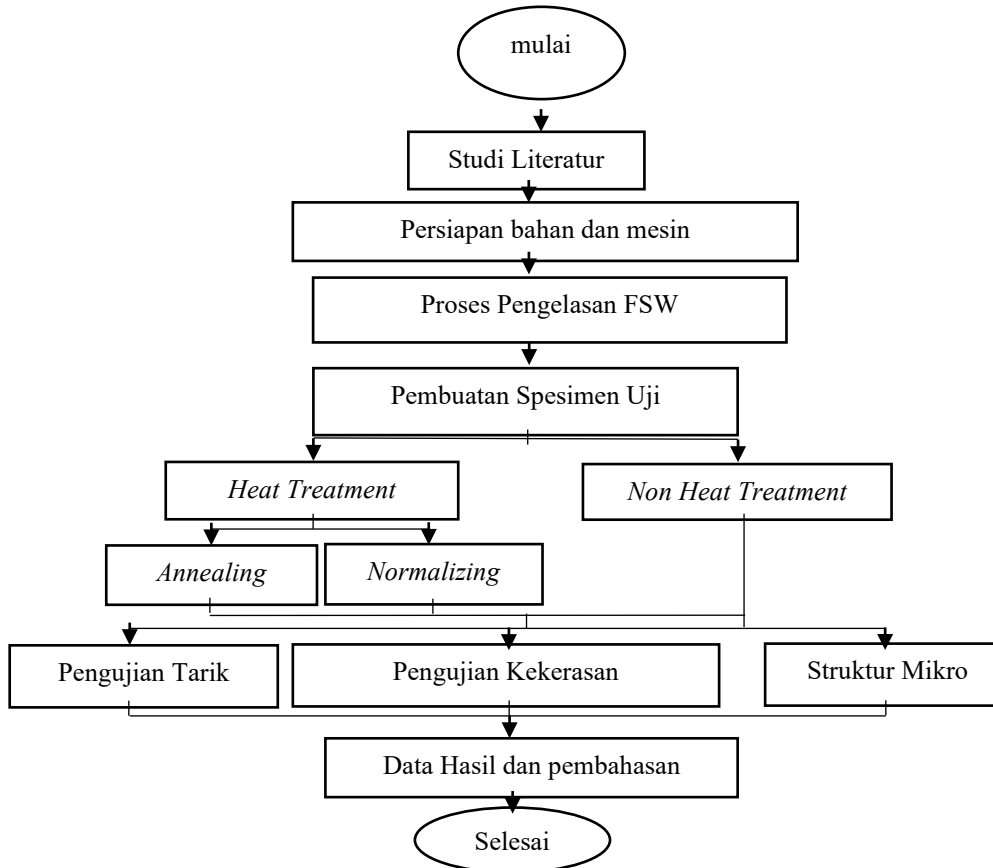
Sedangkan untuk gaya gesek kinetis dinyatakan dengan rumus sbb :

$$F_k : \mu_k \cdot N \quad (2)$$

Dimana :  $F_k$  : Gaya gesek kinetis  
 $\mu_k$  : koefisien gesek kinetis  
 $N$  : Gaya normal

### 3. METODOLOGI PENELITIAN

Secara skematis alur penelitian dapat dilihat pada Gambar.2 sebagai berikut :



Gambar 2. Diagram alir penelitian

#### 3.1. Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah aluminium *alloy* 5052 dengan ukuran 150 mm x50 mm x3 mm, seperti yang ditunjukkan gambar 3, dibawah.



Gambar 3. Penyambungan AL 5052 dengan FSW

Pada gambar 3. Memperlihatkan dua buah plat AL 5052 yang telah di las dengan menggunakan metode gesekan (*Friction Stir welding*). Sedangkan gambar 3, dan gambar 4 memperlihatkan bentuk *specimen* setelah dilakukan pengujian tarik. Adapun pada gambar 4 dan gambar 5, menunjukkan *specimen* yang telah mengalami pengujian tarik, setelah kedua *specimen* tersebut mengalami perlakuan panas.

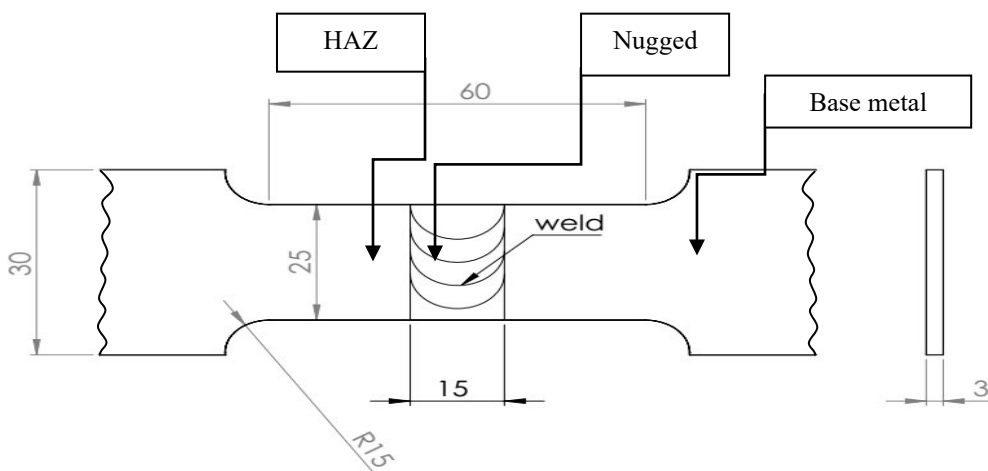


Gambar 4. Bentuk spesimen setelah di uji tarik yang di *Normalizing*



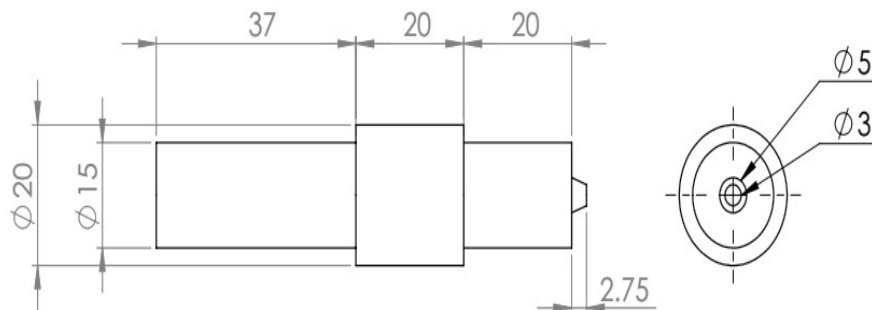
Gambar 5. Bentuk spesimen setelah di uji tarik yang di *Annealing*

Demikian juga yang terlihat pada gambar 6, adalah pembagian zona pada material yang akan di uji kekerasan dengan menggunakan standard ASTM 8, pada daerah base metal, Nuged, dan daerah dampak panas HAZ



Gambar 6. Dimensi uji tarik standard ASTM 8

Sedangkan pin pengaduk yang digunakan terbuat dari *high steel carbon* yang dibentuk *cylindrical taper* dengan ukuran diameter pin 5mm, taper 3mm, tinggi pin 2,75mm, dan diameter *rshoulder* 15 mm, terlihat seperti Gambar.7.



**Gambar 7. Bentuk dan dimensi pin**

Mesin yang digunakan pada proses FSW adalah *universal milling machine Acirea AS-1*. Sedangkan proses pemanasan digunakan *Furnace*, untuk proses *annealing* dan *normalizing*. Sedangkan Mesin uji tarik adalah *universal testing machine Hung Ta type HT-9501*, dan untuk uji Kekerasan *macro vickers machine Brevetti "AFFRI"* dan alat uji Struktur Mikro yaitu mikroskop Olympus BH 2-VMA.

### 3.2. Langkah langkah penelitian

Proses *friction stir welding* dapat dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

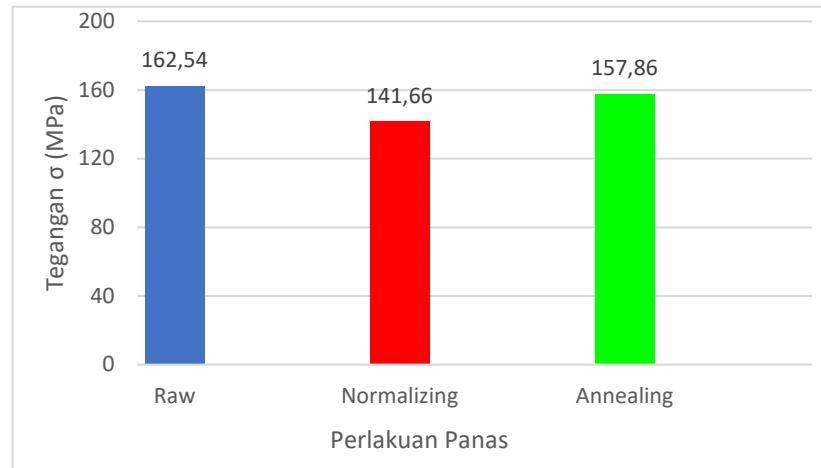
- Mempersiapkan semua perlengkapan yang dibutuhkan seperti *base metal*, *tool*, *backing plate*, dan *milling clamp*.
- Pasang *tool* pada bahu pencekam dan pasang *base metal* pada meja mesin *milling* yang diberi alas *backing plate* dengan tujuan agar *base metal* tidak menempel pada meja mesin *milling* setelah proses pengelasan lalu kencangkan *base metal* menggunakan *milling clamp*.
- Menempatkan *tool* pada daerah lasan (*weld line*) yang merupakan batas antara dua *base metal*, sehingga dengan adanya putaran dan gesekan antara *tool* dan *base metal* maka terjadilah panas.
- Menyalakan mesin *milling* dengan putaran *tool* 1500 rpm dan *feed rate* yang digunakan 60 mm/menit.
- Melakukan penetrasi *tool* ke dalam *base metal* sedalam 2,8 mm. Penetrasi dilakukan secara manual dengan menaikkan atau menurunkan meja mesin *milling* terhadap sumbu y.
- Proses *friction stir welding* dilakukan setelah *tool* ditahan dalam beberapa menit agar mencapai suhu sekitar 0,8 T<sub>c</sub> (titik cair) dari *base metal*. *Tool* kemudian dijalankan otomatis mengikuti daerah lasan (*weld line*).
- Pull off* atau proses pengangkatan *tool* setelah *tool* mencapai daerah ujung *base metal*.
- Matikan putaran dan mesin *milling* setelah itu lepas *milling clamp* lalu ambil *base metal* dari meja mesin *milling*.

Proses perlakuan panas / heat treatment adalah *annealing*, terhadap logam paduan aluminium. Prinsip *annealing* adalah memanaskan *base metal* sampai di atas temperatur kritis, kemudian dilakukan *holding time*, dan proses pendinginan di dalam tungku dilakukan dengan lambat hingga temperatur kamar. Sedangkan perlakuan panas *normalizing* dilakukan dengan memanaskan raw material, kemudian dilakukan *holding time* dengan waktu tertentu dan didinginkan di udara bebas.

## 4. DATA HASIL PENELITIAN

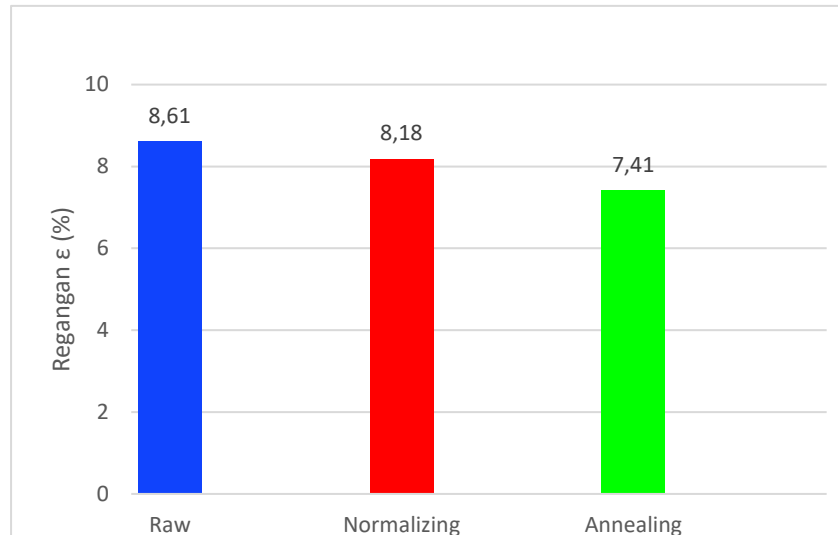
### 4.1. Data hasil uji tarik

Data hasil uji tarik terlihat pada Gambar 8, sedangkan nilai regangan ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 8. Histogram Perbandingan Tegangan Tarik

### 4. 2. Data hasil uji regangan



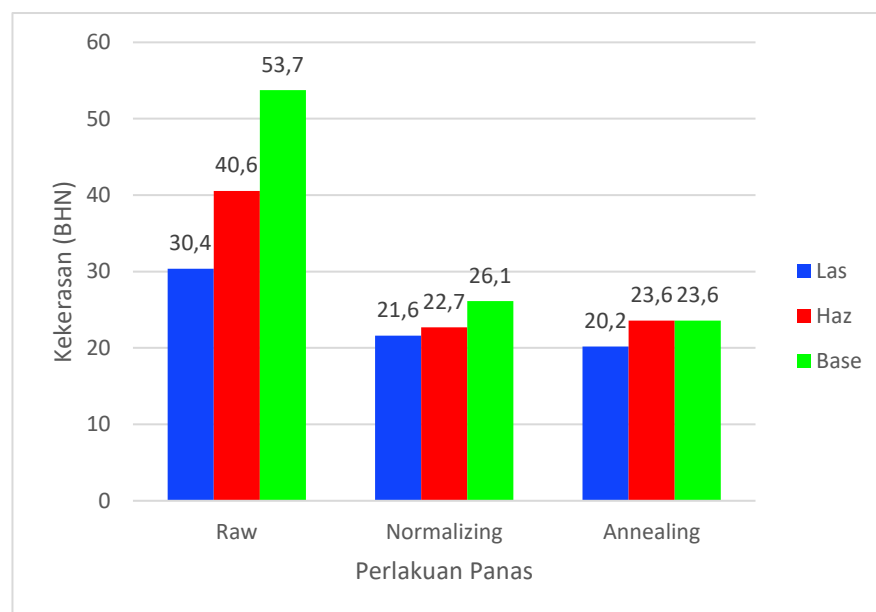
Gambar 9. Histogram Perbandingan Nilai Regangan Tarik

Dari histogram gambar 8, menunjukkan bahwa tegangan tarik hasil pengelasan *friction stir welding aluminium alloy AA-5052* memiliki nilai yang menunjukkan perbedaan, baik yang ditreatment maupun tidak. Nilai tegangan tarik pada spesimen yang tidak di *heat treatment* sebesar 162.54 MPa, dan pada spesimen yang di

*normalizing* sebesar 141.66 Mpa, dan 157.86 MPa untuk yang di *annealing*. Jika dicermati ada perbedaan kekuatan tariknya, antara *raw* material dengan specimen yang di *annealing* dan *normalizing* walaupun tidak terlalu signifikan. Proses pemanasan memberikan peluang butiran butiran logam untuk bergerak dan menempati ruangan ruangan kosong, sehingga akan tertata sesuai dengan karakternya. Dengan demikian maka proses *heat treatment* menyebabkan terjadinya perubahan butir.

Kekuatan material tersebut akan diikuti perubahan sifat yang lain, yaitu penambahan panjang atau perubahan regangan seperti terlihat pada gambar 9 yang 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 terkecil 7.41%.

#### 4. 3. Data hasil uji kekerasan

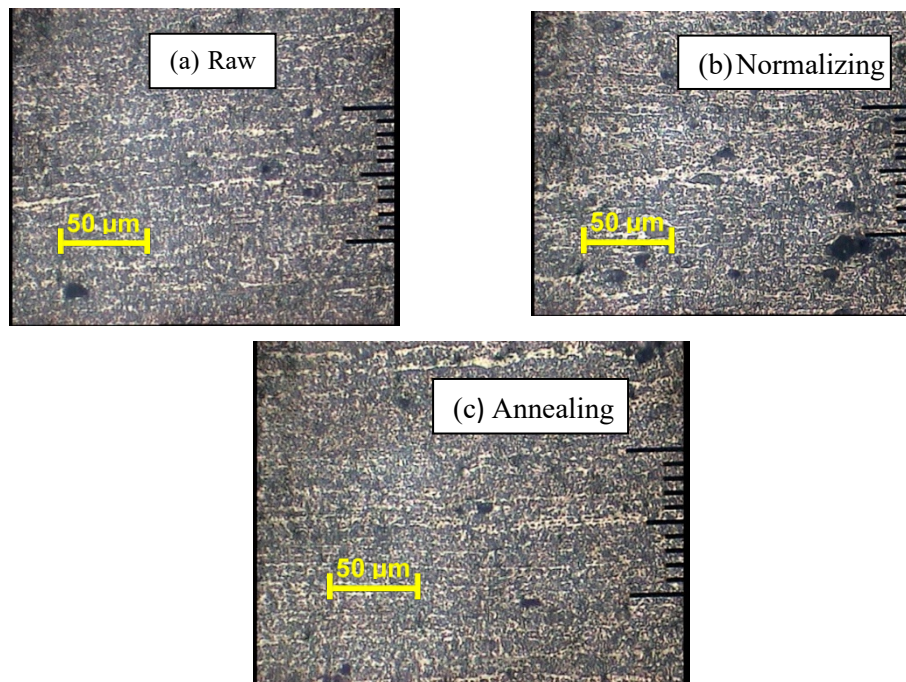


Gambar 10. Histogram nilai Kekerasan

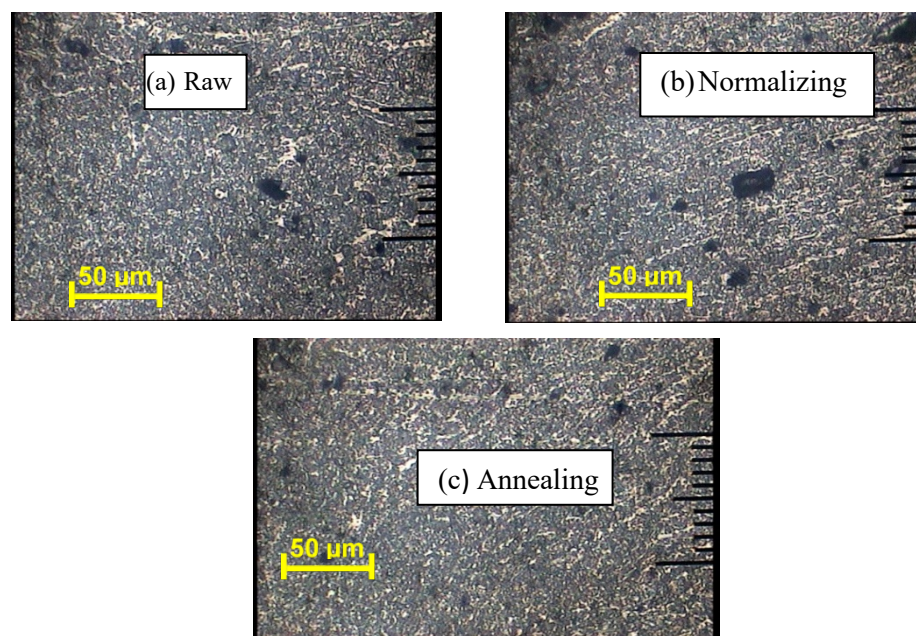
Dari histogram Gambar 10, menunjukkan bahwa nilai kekerasan pada setiap variabel perlakuan panas maupun tanpa perlakuan panas pada hasil pengelasan *Friction Stir Welding (FSW)* Alumunium Alloy 5052 memiliki nilai kekerasan yang berbeda pada setiap bidang ujinya seperti yang ditunjukkan pada gambar 10. 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 yang tidak *ditreatment* yaitu sebesar 30.4 BHN, sedangkan untuk nilai kekerasan rata-rata bagian las terendah pada *annealing* sebesar 20.2 BHN. Nilai kekerasan rata-rata hasil pengelasan *Friction Stir Welding (FSW)* yang di *heat treatment* mengalami penurunan, diduga paduan Al-Mg yang mengalami perlakuan panas terjadi difusi dengan adanya pergerakan butir, sehingga butir – butir tertata seragam dan homogen.



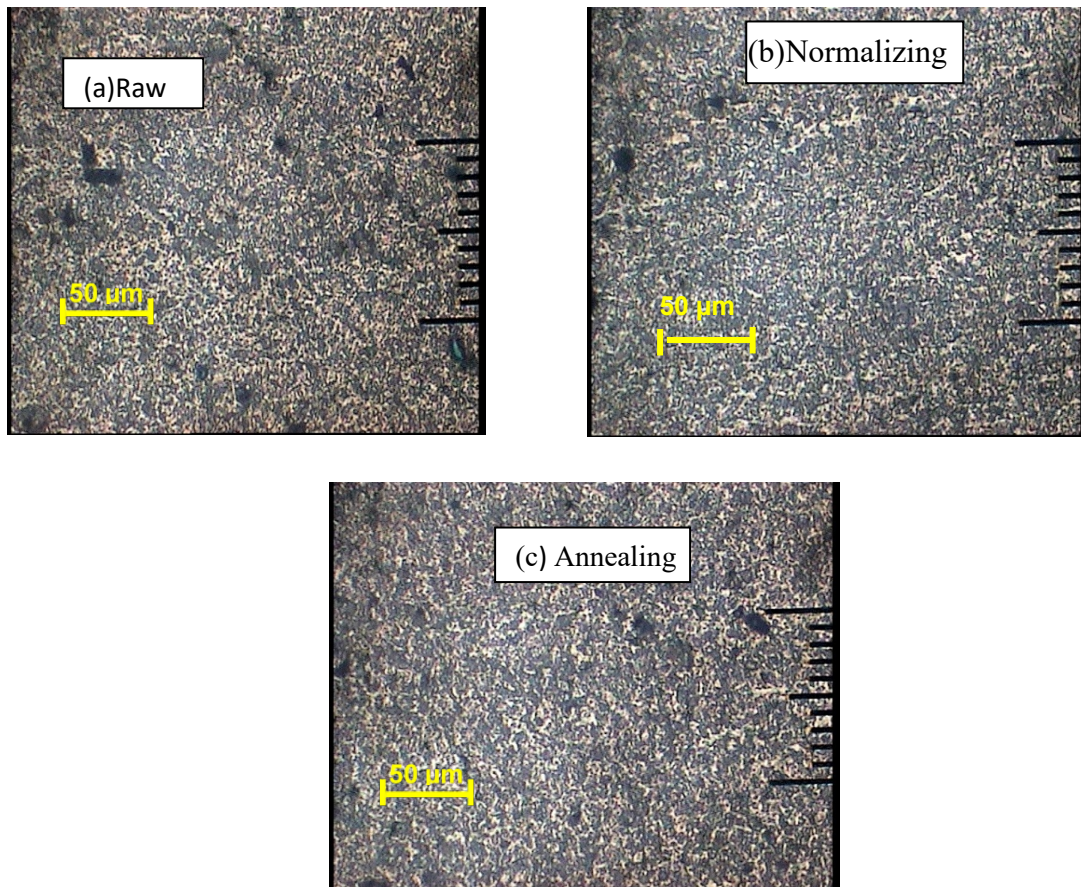
#### 4. 3. Data hasil uji struktur mikro



Gambar 11. Struktur mikro daerah *base metal* (a) *Raw*, (b) *Normalizing*, (c) *Annealing* dengan perbesaran 200 X.



Gambar 12. Struktur mikro daerah HAZ (a) *Raw*, (b) *Normalizing*, (C) *Annealing*, pembesaran 200x



**Gambar 13. Struktur mikro daerah Las (a) Raw, (b) Normalizing, (C) Annealing**

Dari gambar 11,12, dan 13 terlihat struktur mikro dari hasil pengelasan *Friction Stir Welding* yang mengalami perlakuan panas (*heat treatment*) mengalami perubahan bentuk butir. Seperti tampak pada gambar 11,12,dan 13, besar butir yang ada pada pengelasan yang tidak mengalami perlakuan panas (*heat treatment*), baik pada base metal, HAZ dan daerah lasan terlihat butirannya agak besar dibanding dengan yang di treatment, sedangkan fase yang ada adalah AL dan Mg. Secara spesifik walaupun tidak terlalu nampak perbedaan secara signifikan, namun akan mempengaruhi sifat-sifat fisis dan mekanik, antara lain kekuatan tarik, kekerasan, dan struktur mikro.

## 5. KESIMPULAN

Pengelasan FSW *Aluminium Alloy seri AA-5052*, didapat kontur permukaan yang halus dan terdapat *weld flash* yang disebabkan adukan *shoulder* dan *pin* saat proses pengelasan. Data pengujian kekuatan menunjukkan bahwa pada pengelasan FSW tanpa perlakuan panas (*raw*) sebesar 162,54 MPa dan nilai regangan sebesar 8,61%, sedangkan yang di *normalizing* kekuatan tarik sebesar 141,66 MPa nilai regangan sebesar 8,18%, dan yang *Annealing* kekuatan tarik sebesar 157,86 MPa nilai regangan sebesar 7,41%.

Sedangkan nilai kekerasan pada base metal sebesar 53.7 BHN, daerah HAZ 40.6 BHN, daerah lasan 30.4 BHN. Nilai kekerasan yang di annealing dan normalizing masing – masing sebesar 23.6 BHN pada raw material, HAZ 23.6 BHN daerah lasan 20.2 BHN, sedangkan yang normalizing 26.1 BHN, HAZ 22.7 BHN dan daerah lasan 21.6 BHN. Pada pengamatan struktur mikro perlakuan panas annealing dan normalizing mengalami penghalusan butir yang dapat dilihat pada foto terlihat mengecil dan rapat



## 5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] 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
- [2] American Society for Metals Handbook Committee. 1990. *Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials*, Volume 02. ASM International. The Materials Information Company.
- [3] American Society for Metals Handbook Committee, 1991, *Heat Treating*, Volume 04, ASM International, The Materials Information Company.
- [4] American Society for Metals Handbook Committee, 2004, *Welding, Brazing, and Soldering*, Volume 06, ASM International, The Materials Information Company.
- [5] American Society for Testing and Materials. 2003. *Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Material*, ASTM, E8M-04.
- [6] American Society for Metals Handbook Committee, 2004, *Metallography and Microstructures*, Volume 09, ASM International, The Materials Information Company.
- [7] Anggono, A. D., Riyadi, T. W. B., at.al., 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.
- [8] Azom Materials – California Metal & Supply, Inc. 2012. Aluminium / Aluminium Alloy 5052 (UNS AA5052), <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=6615>.
- [9] Dawes, C, J. 1999. *Friction Stir Welding*. TALAT Lecture 4410. The Welding Institute. Cambridge.
- [10] Kamenichny, I. 1969. *A Short Handbook of Heat Treatment*. Mir Publishers. Moscow.
- [11] 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.
- [12] Moarrefzadeh, Ali. 2012. *Study of Heat Affected Zone (HAZ) in Friction Welding Process*. Iran: Journal of Mechanical Engineering.
- [13] Nandan, R, T. DebRoy, H.K.D.H. Bhadeshia. 2008. *Recent Advances In Friction Stir Welding - Process, Weldment Structure and Properties*. Science Direct.
- [14] 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*.
- [15] Riswanda, Iman, M., N., 2012, *Studi Komparasi Sambungan Las Disamilar AA 5083- AA 6061-T6 Antara TIG dan FSW*, Industrial Research Workshop and National Seminar.
- [16] Sidhu, Mandeep Singh. 2012. *Friction Stir Welding-Process and its Variabels; A Review*, International Journal of Emerging Technology and Advanced Engginering, India.
- [17] 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.
- [18] 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.