

## Kekuatan Tarik dan Porositas Hasil Sambungan Las Gesek Aluminium 6061 dengan Berbagai Suhu Aging

Pungky Eka Setyawan, Yudy Surya Irawan, Wahyono Suprpto  
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang  
Jl. MT Haryono 167 Malang 65145  
Phone: +62-341-587711, Fax: +62-341-554291  
E-mail: punk\_caryo@yahoo.co.id

### **Abstract**

*Aluminum alloy is one of materials that is difficult joining with fusion welding. Friction welding is solution to solve engineering problems in joining with fusion welding. The parameters that influence on friction welding are friction time, rotational speed, compressive force, and upset force. In this study, specimens were friction welded with rotation speed of 1600 rpm, compressive force during friction welding 123 kgf for 120 seconds, and upset force 202 kgf for 120 seconds. The weakness of the friction welding process is a decline in strength, it is due to friction welding is done in solid condition. In order to increase tensile strength of friction welding joint, precipitation hardening methods can be used. Precipitation hardening methods carried out in three stages, solution heat treatment, quenching and aging with artificial aging process. The artificial aging temperature varied by 150 °C, 175 °C, 185 °C, 200 °C, and 225 °C with a holding time in 7 hours. The results showed that precipitation hardening cause porosity decreased in the weld joint. Specimens with a aging temperature 150 °C and holding time for 7 hours has the smallest porosity of 0,11 % and it has maximum tensile strength of 186,65 MPa.*

**Keywords:** *Tensile Strength, Porosity, Friction Welding, Aging Treatment.*

### **PENDAHULUAN**

Pengelasan merupakan salah satu teknik penyambungan logam akibat panas, atau dapat didefinisikan sebagai akibat dari metalurgi yang ditimbulkan oleh gaya tarik menarik antar atom. Industri manufaktur merupakan suatu industri yang tidak dapat terlepas dari penyambungan logam. Dalam industri, penyambungan logam mempunyai tujuan yaitu untuk membuat suatu barang yang tidak mungkin dilakukan dengan teknik lain kemudian memudahkan pekerjaan, dan menekan biaya produksi.

Pada tahun 1809 aluminium ditemukan oleh Sir Humphrey Davy sebagai suatu unsur, dan pada tahun 1825 pertama kali direduksi sebagai logam oleh H. C. Oersted. Ditinjau dari penggunaannya aluminium sebagai logam mendapat urutan yang kedua setelah besi dan baja setiap tahunnya, dan ini merupakan urutan yang tertinggi di antara logam-logam *non-ferrous*. Produksi aluminium di dunia mencapai 15 juta ton per-tahunnya, yang tercatat pada tahun 1981[1].

Kelebihan aluminium yaitu memiliki berat yang relatif ringan dengan berat jenis sebesar 2.7 g/cm<sup>3</sup> atau hampir 1/3 dari berat jenis baja, kekuatan mekanis dan sifat-sifat fisiknya dapat ditingkatkan dengan cara menambahkan unsur-unsur paduan [2]. Jenis aluminium yang sering digunakan dalam industri yaitu aluminium seri 6061. Aluminium 6061 tergolong aluminium seri 6xxx dengan elemen paduan magnesium dan silikon, paduan jenis ini termasuk dalam jenis yang dapat di *heat treatment* dan mempunyai sifat mampu potong dan daya tahan korosi yang cukup baik[3].

Kelemahan aluminium dan paduannya ditinjau dari proses penyambungannya yaitu sulit dilakukan dengan pengelasan cair, hal ini disebabkan karena aluminium mempunyai lapisan aluminium oksida pada permukaannya, sehingga untuk dapat dilas lapisan aluminium oksida tersebut harus dihancurkan terlebih dahulu. Salah satu solusi dalam memecahkan permasalahan dalam teknik penyambungan logam yang sulit dilakukan dengan pengelasan cair yaitu

dengan melakukan penyambungan dengan pengelasan gesek (*friction welding*).

Metode pengelasan gesek termasuk dalam jenis pengelasan bertekanan, proses pengelasan gesek dilakukan dalam keadaan *solid state* di mana tidak ada listrik atau sumber energi lain yang digunakan, energi panas dihasilkan dengan memanfaatkan adanya gesekan pada permukaan dari bagian yang akan dilas. Pengelasan yang diterapkan yaitu dengan menggunakan panas secara efisien pada daerah las sehingga panas akibat gesekan antar permukaan tersebut didistribusikan secara merata pada permukaan yang akan disambung. Selama proses pengelasan, permukaan berada di bawah tekanan dan periode ini disebut tahap pemanasan kontinu dimana material yang disambung mengalami deformasi plastis kemudian kedua material yang disambung menjadi dingin dan membentuk ikatan dalam keadaan padat[4].

Kelebihan pengelasan gesek yaitu: tidak memerlukan fluks/selaput las, bahan pengisi/elektroda ataupun gas dalam proses pengelasannya, tidak ada percikan api las ataupun asap yang dihasilkan, tidak ada pencairan sehingga tidak ada cacat solidifikasi yang terjadi (misalnya gas porositas, segregasi atau inklusi terak). Akan tetapi terdapat kelemahan dalam metode pengelasan gesek salah satunya yaitu menurunnya kekuatan hasil sambungan dibandingkan dengan kekuatan pada logam dasar [5].

Sudut *chamfer* sangat berpengaruh terhadap kekuatan tarik sambungan las gesek paduan Al-Mg-Si, sudut *chamfer* 30° dan gaya tekan akhir 157 kgf memberikan peningkatan kekuatan tarik yang optimal [6]. Kelemahan dari hasil sambungan las gesek paduan Al-Mg-Si yaitu terjadi penurunan kekuatan tarik dibandingkan dengan kekuatan tarik pada logam induknya. Salah satu parameter penting dalam proses pengelasan gesek paduan Al-Mg-Si yaitu gaya tekan akhir. Gaya tekan akhir di atas 157 kgf dapat meningkatkan kekuatan tarik [5]. Perlakuan panas dengan proses *artificial aging* pada aluminium juga dapat digunakan sebagai solusi yang tepat untuk menurunkan porositas hasil sambungan las gesek paduan Al-Mg-Si

sehingga kekuatan tarik dan kekerasannya meningkat [7].

Proses *Solution heat treatment* adalah suatu proses pemanasan logam aluminium dalam dapur pemanas dengan temperatur kurang dari 548 °C dan dilakukan penahanan atau holding time sesuai dengan jenis dan ukuran benda kerja. Proses *solution heat treatment* bertujuan untuk mendapatkan larutan padat yang mendekati homogen[7].

Selanjutnya *Quenching* dilakukan dengan cara mendinginkan logam yang telah dipanaskan dalam dapur pemanas kedalam media pendingin. Media pendingin yang digunakan yaitu air, dipilihnya air sebagai media pendingin pada proses *quenching* karena air merupakan media pendingin yang cocok untuk logam-logam yang memiliki tingkat kekerasan atau *hardenability* yang relatif rendah seperti logam paduan aluminium. Pendinginan dilakukan secara cepat, dari temperatur pemanas ( $\geq 525$  °C) ketemperatur yang lebih rendah, pada umumnya mendekati temperatur ruang. Proses *quenching* bertujuan agar Larutan padat homogen yang terbentuk dari proses *solution heat treatment* dan kekosongan atom tetap pada tempatnya. Kekosongan atom dalam jumlah besar dapat membantu proses difusi atom[8].

Proses yang terakhir yaitu aging. Perubahan sifat-sifat dengan berjalannya waktu pada umumnya dinamakan *aging* atau penuaan. Aging atau penuaan pada paduan aluminium dibedakan menjadi dua, yaitu penuaan alami (*natural aging*) dan penuaan buatan (*artificial aging*). Penuaan alami (*natural Aging*) adalah penuaan untuk paduan aluminium yang di aging dalam keadaan dingin. *Natural aging* berlangsung pada temperatur ruang antara 15 °C – 25 °C dan dengan waktupenahanan 5 sampai 8 hari. Penuaan buatan (*artificial aging*) adalah penuaan untuk paduan aluminium yang di aging dalam keadaan panas. *Artificial aging* berlangsung pada temperatur antara 100 °C - 200 °C dan dengan lamanya waktu penahanan antara 1 sampai 24 jam. Pengambilan temperatur *artificial aging* pada temperatur antara 100°C- 200°C akan berpengaruh pada tingkat kekerasan sebab pada proses *artificial aging* akan terjadi perubahan-perubahan fasa atau struktur

*artificial aging*, pengambilan temperatur *artificial aging* pada temperatur antara 100°C-200°C dengan *holding time* antara 1 sampai 24 jam akan berpengaruh pada tingkat kekerasan, karena akan terjadi perubahan-perubahan fasa atau struktur [8].

Perlakuan *precipitation hardening* pada aluminium paduan AA7075 sebelum dilakukan *Friction welding* sangat berpengaruh terhadap nilai kekuatan tarik. tahapan-tahapan *precipitation hardening* inilah yang memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai kekuatan tarik aluminium paduan A7075. Setelah dilakukan proses *solution heat treatment* pada suhu 480 °C selama 2 jam, *quenching* menggunakan media air dan *artificial aging* dengan suhu 120 °C selama 24 jam kemudian dilakukan *friction welding* menghasilkan kekuatan tarik yang optimal, yaitu 555 MPa. Apabila dibandingkan dengan kekuatan tarik pada logam dasarnya terjadi penurunan kekuatan tarik sebesar 11% [9]. Oleh sebab itu dilakukan penelitian tentang *precipitation hardening* pada spesimen aluminium 6061 setelah mengalami proses *friction welding* untuk melihat fenomena kekuatan tariknya

## METODE PENELITIAN

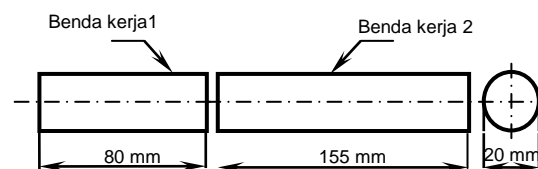
Metode penelitian yang akan digunakan yaitu metode penelitian eksperimental sejati (*true experimental research*), Material yang digunakan yaitu Aluminium 6061 berbentuk silinder pejal. Dari hasil uji komposisi kimia, material Aluminium 6061 memiliki kandungan unsur seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 1.

Material awal untuk pembuatan spesimen pengelasan gesek berbentuk silinder pejal. Material tersebut dipotong dengan menggunakan *power hack saw* sesuai dengan ukuran yang diinginkan seperti pada Gambar 1. Pemotongan dilakukan dengan menggunakan media air pendingin (*coolant*) untuk mendinginkan material agar panas yang timbul dan berdampak negatif terhadap hasil pemotongan spesimen dapat diminimalkan. Setelah dipotong kemudian, dilakukan proses penghalusan pada kedua permukaan yaitu pada permukaan spesimen yang nantinya disambung melalui proses pengelasan gesek. Penghalusan dilakukan dengan cara pengamplasan dengan tujuan untuk

menghaluskan permukaan gesek dan mengurangi gesekan. Pengamplasan dilakukan menggunakan amplas *grit size number* 1000 dengan menggunakan mesin bubut dengan putaran 500 rpm selama 30 s.

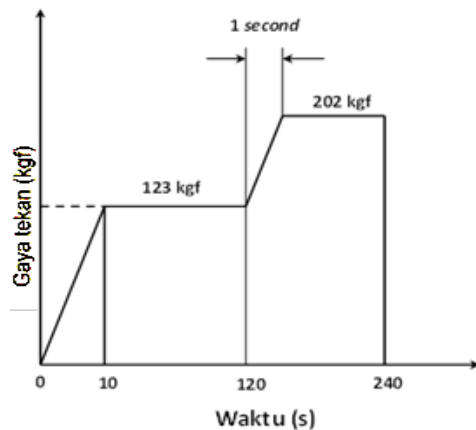
**Tabel 1.** Komposisi Kimia Aluminium 6061 (% berat).

Unsur	Nilai (%)	Unsur	Nilai (%)
Si	0,6020	Pb	0,0014
Fe	0,1820	P	0,00058
Cu	0,2500	Sn	0,00066
Mn	0,0086	Sb	< 0,0004
Mg	0,8830	Sr	0,00018
Cr	0,1110	Be	0,00006
Zn	0,0109	Zr	0,0015
Ti	0,0192	Bi	< 0,0003
Na	0,0021	Cd	0,0010
Ca	0,0005	Al	97,900
Ni	0,0044		



**Gambar 1.** Dimensi Benda Kerja.

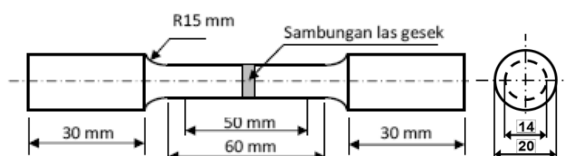
Proses pengelasan gesek dilakukan menggunakan mesin bubut. Pengelasan gesek dilakukan menggunakan kecepatan *spindle* sebesar 1600 rpm, dengan pemberian tekanan awal sebesar 123 kgf secara konstan. Proses pengelasan dilaksanakan selama 2 menit. Setelah itu putaran dihentikan dan ditambahkan gaya tekan akhir sebesar 202 kgf selama 2 menit. Metode yang digunakan untuk menghasilkan gaya tekan awal dan akhir adalah dengan memanfaatkan gaya tekan pada pegas yang ditempatkan dalam sebuah alat bantu cekam yang dipasang pada *tail stock*. Skema pemberian gaya tekan awal dan akhir dapat dilihat pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Skema Pemberian Gaya Tekan Awal dan Akhir.

Pada detik 0-120 terjadi proses pengelasan gesek disertai pemberian gaya tekan awal, sedangkan pada detik 121-240 terjadi proses tempa atau proses pemberian gaya tekan akhir.

Untuk proses pengujian tarik, spesimen dibentuk menggunakan mesin bubut berdasarkan standart JIS Z 2201 seperti pada Gambar 3. Pada proses pembentukan spesimen pada mesin bubut menggunakan air pendingin (*coolant*) hal ini dilakukan agar spesimen tidak mengalami pemanasan yang mengakibatkan efek negatif seperti perubahan struktur material akibat panas. Dimensi benda kerja yang akan digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Spesimen Uji Tarik Standar JIS Z 2201 [10].

Proses *precipitation hardening* dilakukan dengan tiga tahap yaitu *solution heat treatment*, *quenching* dan *aging* dengan proses *artificial aging* menggunakan dapur pemanas (*furnace*). Proses *artificial aging* dilakukan dengan variasi suhu 150 °C, 175 °C, 185 °C 200 °C, dan 225 °C dengan *holding time* selama 7 jam. Akan tetapi sebelum spesimen diproses *precipitation*

*hardening* spesimen terlebih dahulu dilakukan uji porositas tujuannya yaitu untuk mengetahui perubahan nilai porositas sebelum diproses *precipitation hardening* dan sesudah *precipitation hardening*.

Pengujian porositas menggunakan metode piknometri yaitu dengan menghitung prosentase porositas yang terdapat pada spesimen uji dengan membandingkan densitas sampel atau *apparent density* dengan densitas teoritis atau *true density*, yaitu:[11]

$$\% P = \left(1 - \frac{\rho_s}{\rho_{th}}\right) \times 100\% \quad (1)$$

dengan:

%P = Prosentase porositas (%)

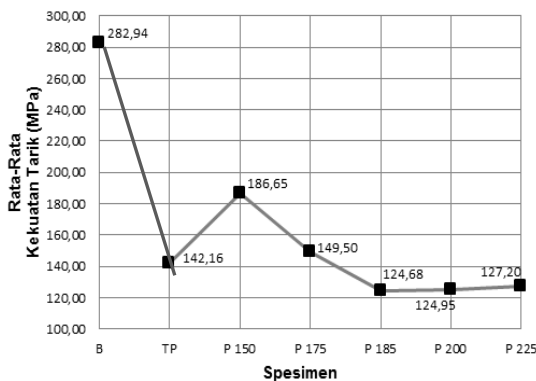
$\rho_s$  = Densitas sampel atau *apparent density* (g/cm<sup>3</sup>)

$\rho_{th}$  = Densitas teoritis atau *true density* (g/cm<sup>3</sup>)

Jumlah spesimen total yaitu 21 spesimen dengan rincian masing-masing variasi terdiri dari 3 sampel. Variasi spesimen yaitu spesimen B (*base/logam induk*), Spesimen TP (*spesimen tanpa perlakuan precipitation hardening*), spesimen P 150 (*Spesimen precipitation hardening dengan suhu artificial aging 150<sup>0</sup>C*), spesimen P 175 (*Spesimen precipitation hardening dengan suhu artificial aging 175<sup>0</sup>C*), spesimen P 185 (*Spesimen precipitation hardening dengan suhu artificial aging 185<sup>0</sup>C*), spesimen P 200 (*Spesimen precipitation hardening dengan suhu artificial aging 200<sup>0</sup>C*), spesimen P 225 (*Spesimen precipitation hardening dengan suhu artificial aging 225<sup>0</sup>C*).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pengujian tarik maka kekuatan tarik spesimen logam dasar, spesimen hasil sambungan las gesek tanpa perlakuan panas dan spesimen hasil sambungan las gesek dengan perlakuan panas (*precipitation hardening*) nilai kekuatan tariknya dapat ditentukan.



**Gambar 4.** Kecenderungan Kekuatan Tarik Spesimen.

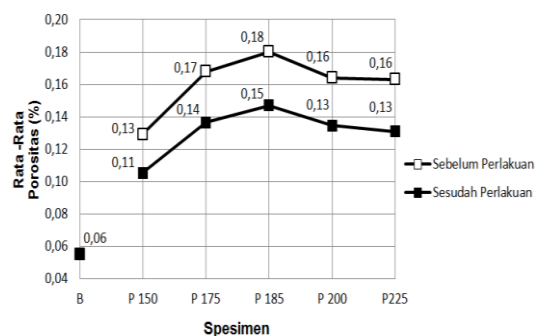
Dari Gambar 4. kekuatan tarik hasil sambungan las gesek aluminium 6061 tertinggi terdapat pada spesimen dengan perlakuan *precipitation hardening* pada suhu *artificial aging* 150 °C dengan nilai kekuatan tariknya adalah 186,65 MPa. Sedangkan kekuatan tarik hasil sambungan las gesek aluminium 6061 yang terendah terdapat pada spesimen dengan perlakuan *precipitation hardening* pada suhu *artificial aging* 185 °C dengan nilai kekuatan tariknya adalah 124,68 MPa. Setelah mengalami proses *precipitation hardening* kekuatan tarik sambungan aluminium 6061 meningkat sebesar 31,30 % dari kekuatan tarik spesimen tanpa *precipitation hardening*. Namun apabila dibandingkan dengan kekuatan tarik pada logam dasar terjadi penurunan sebesar 34 %.

Suhu dan waktu penahanan sangat berpengaruh terhadap perubahan fasa pada paduan aluminium tahapan pada proses aging yang pertama yaitu permulaan aging berkisar mulai suhu ruang yaitu sekitar 27 °C sampai <100°C, spesimen memasuki tahap Larutan padat lewat jenuh, kemudian pada suhu 100 °C tidak lebih, memasuki tahap pengerasan tahap pertama. Pada pengerasan tahap pertama ini kekerasan paduan aluminium mulai meningkat. Kemudian pada suhu > 100 °C tepatnya pada suhu 130 °C dan apabila waktu penahanan terpenuhi maka akan didapatkan kekerasan yang optimal, tahap ini disebut tahap pengerasan tahap kedua. Apabila temperaturnya dinaikkan atau temperatur tetap dengan waktu aging diperpanjang maka akan terbentuk presipitasi dengan struktur kristal

yang teratur dan masih dapat memberikan sumbangan terhadap peningkatan kekerasan pada paduan aluminium akan tetapi peningkatan kekerasan yang terjadi pada fasa ini berjalan sangat lambat, fasa ini disebut fasa antara. Apabila temperatur dinaikkan atau waktu penuaan diperpanjang lagi maka akan memasuki tahap fasa pelunakan. Disebut fasa pelunakan karena pada suhu ini menyebabkan paduan aluminium kembali menjadi lunak.

Perlakuan *precipitation hardening* pada spesimen hasil pengelasan gesek dengan *artificial aging* pada temperatur antara 100°C–200°C berpengaruh pada tingkat kekerasan. Dari Gambar 4. Dapat dijelaskan bahwa aging pada suhu 150 °C terjadi peningkatan kekuatan tarik, karena pada suhu ini memasuki fasa pengerasan tahap kedua sehingga nilai kekuatan tariknya maksimal. Sedangkan aging pada suhu 175 °C memasuki fasa antara yaitu fasa dimana masih dapat memberikan sumbangan terhadap peningkatan kekerasan akan tetapi peningkatannya sangat lambat. Sedangkan aging pada suhu 185 °C hingga 225 °C maka memasuki tahap pelunakan sehingga kekuatan tarik pada suhu 185 °C hingga 225 °C mengalami penurunan.

Kekuatan tarik sambungan hasil pengelasan gesek juga dipengaruhi oleh besarnya porositas yang terdapat pada spesimen pengujian tarik. Untuk itu perlu dilakukan pengujian porositas yang bertujuan untuk mengetahui dan mengukur adanya rongga di dalam spesimen hasil pengelasan gesek. Hasil pengujian porositas disajikan pada Gambar 5.



**Gambar 5.** Porositas Spesimen Sebelum dan Sesudah Perlakuan *Precipitation Hardening*.

Berdasarkan penelitian ini nilai porositas sesudah dilakukan *precipitation hardening* mengalami penurunan. Nilai penurunan porositas dapat dilihat pada Gambar 5. Porositas hasil sambungan las gesek aluminium 6061 yang tertinggi sebelum dilakukan perlakuan *precipitation hardening* yaitu pada spesimen P 185, dengan nilai porositas sebesar 0.18%. Sedangkan porositas hasil sambungan las gesek aluminium 6061 terendah sebelum dilakukan *precipitation hardening* yaitu pada spesimen P 150, dengan nilai porositas sebesar 0.13%. Kemudian setelah dilakukan *precipitation hardening* nilai porositas spesimen P 185 menjadi 0.14%. Sedangkan nilai porositas terendah pada spesimen P 150 juga mengalami penurunan menjadi 0.11%.

Perlakuan *precipitation hardening* pada spesimen hasil pengelasan gesek dengan *artificial aging* pada temperatur antara 100°C–200°C berpengaruh pada tingkat kekerasan. Dapat dijelaskan bahwa dengan adanya perlakuan *precipitation hardening* dengan suhu aging 150 °C memasuki fasa pengerasan tahap kedua sehingga nilai laju difusi optimal menyebabkan porositas spesimen juga berkurang. Sama halnya dengan aging dengan pada suhu sebelumnya aging pada suhu 175 °C sampai dengan 225 °C mengalibatkan larutan padat pada spesimen menjadi homogen, kekosongan atom yang tetap pada tempatnya dalam jumlah yang besar menyebabkan difusi atom yang maksimal. Difusi atom yang maksimal dapat memperkuat ikatan sambungan. Bentuk Struktur kristal (Butir) yang terbentuk pun juga semakin halus sehingga dapat meningkatkan kekuatan hasil sambungan las gesek aluminium 6061.

## KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan ini bisa diambil kesimpulan yaitu:

1. Suhu pada proses *artificial aging* sangat berpengaruh terhadap nilai kekuatan tarik spesimen hasil pengelasan gesek dengan perlakuan *precipitation hardening*. Kekuatan tarik tertinggi terdapat pada spesimen dengan perlakuan suhu *artificial aging* 150 °C dengan nilai kekuatan tariknya adalah 186,65 MPa. Sedangkan kekuatan tarik

yang terendah terdapat pada spesimen dengan perlakuan suhu *artificial aging* 185 °C dengan nilai kekuatan tariknya adalah 124,68 MPa.

2. Porositas pada hasil sambungan pengelasan gesek akan menurun dengan adanya perlakuan *precipitation hardening* dibandingkan dengan tanpa perlakuan *precipitation hardening*. Spesimen dengan perlakuan suhu *artificial aging* 150 °C memiliki nilai porositas terendah yaitu sebesar 0,11%.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Surdia, Tata., Saito, S., 1995. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- [2] D, Altenpohl, 1982, *Aluminum Viewed from Within: An Introduction into the Metallurgy of Aluminum Fabrication*. Dusseldorf: Aluminum-Verlag., hal. 3.
- [3] ASM International., 1998, *Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials*. Metals Handbook Vol. 2. Materials Park. Ohio.
- [4] Uzkut, Mehmet, ÜNLÜ Bekir Sadık, YILMAZ Selim Sarper, AKDAĞ Mustafa., 2010, *Friction Welding And Its Applications In Today's World*. Sarajevo: *International Symposium on Sustainable Development*, issd 2010 science book, 710-724.
- [5] Santoso, Eko B., Irawan, Y.S., Sutikno, E., 2012, Pengaruh Sudut Chamfer dan Gaya Tekan Akhir Terhadap Kekuatan Tarik dan Porositas Sambungan Las Gesek Al-Mg-Si, *Jurnal Rekayasa Mesin.*, Vol.3, No. 1, 293-298.
- [6] Irawan, Y. S., Wirohardjo, M., Ma'arif, M.S., 2012, *Tensile Strength of Weld Joint Produced by Spinning Friction Welding of Round Aluminum A6061 with Various Chamfer Angles*. *Advanced Materials Research* Vol. 576, 761-765. Trans Tech Publications, Switzerland.
- [7] Paryono, Bayuseno AP, dan Nugroho, S., 2011, Pengaruh Perlakuan Panas T6 terhadap Kekerasan pada Paduan Aluminium ADC12 Hasil *Proses High Pressure Die Casting (Hpdc)*. *Jurnal Rekayasa Mesin Polines.*, Vol. 6, Semarang.

- [8] ASM Internasional, 1998, *Heat Treating*, Metals Handbook, Vol. 4, Materials Park, Ohio.
- [9] Rafi, H. Khalid, Ram G.D. Janaki, Phanikumar G, and Rao K. Prasad, 2010, *Microstructure and Tensile Properties of Friction Welded Aluminum Alloy Aa7075-T6*, *Materials and Design*, 31, 2375–2380.
- [10] Japanese Industrial Standards Association, 1980, *Standard Book of JIS: JIS Z 2201. Japanese Industrial Standard Association*. Tokyo.
- [11] Taylor, Sum & McClain, and Berry, 2000, *Uncertainty Analysis of Metal Casting Porosity Measurements Using Archimedes Principle*. *International Journal of Cast Metals Research.*, Vol. 11, America: Prentice-Hall International, Inc.

