

## Kekuatan Puntir dan Porositas Hasil Sambungan Las Gesek AlMg-Si dengan Variasi *Chamfer* dan Gaya Tekan Akhir

Dicky Adi Tyagita, Yudy Surya Irawan, Wahyono Suprpto  
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya  
Jl. MT. Haryono 167 Malang 65165, Indonesia  
E-mail: dicky.tyagita@yahoo.com

### Abstract

*Friction welding is the most suitable method for joining aluminum alloys. Aluminum alloys have limitations heat to concentrate only in weld area when used arc or gas welding. That causes it is has good thermal conductivity. The parameters that influence on friction welding are friction time, compressive force, upset force, rotational speed, and chamfer angle. The purpose of the research was to know influence of chamfer angle and upset force on the Al-Mg-Si. The chamfer angles varied 0, 15°, 30°, 45° and upset force varied 157 kgf, 185 kgf and 202 kgf. Specimens were friction welded with rotation speed of 1600 rpm, compressive force 123 kgf for 120 seconds, and upset force variation by 157, 185, 202 kgf for 120 seconds. In addition torsion and porosity testing were also performed on friction welding product. Results showed that specimens with a chamfer angle 15 ° in various upset force has maximum shear strength, so were on specimens with a chamfer angle 15 ° has minimum percentage of porosity in various upset force.*

**Keywords** : shear strength, friction welding, chamfer angle, upset force, porosity and Al-Mg-Si

### PENDAHULUAN

Aluminium paduan dalam industri manufaktur memiliki kesulitan dalam proses pengelasan menggunakan pengelasan fusi. Permasalahan pada pengelasan aluminium ini disebabkan salah satunya oleh konduktifitas panas aluminium yang mendekati 2/3 konduktifitas panas tembaga [1] sehingga sulit mengkonsentrasikan pemanasan hanya pada daerah lasan saat dilakukan pengelasan dengan menggunakan las busur atau las gas. Permasalahan pada pengelasan aluminium inilah yang mendorong ditemukannya metode-metode baru untuk mengatasi masalah penyambungan aluminium dan paduannya.

Salah metode yang dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan ini adalah *friction welding*. *Friction welding* adalah pengelasan *solid state* karena berlangsung sebelum logam induk meleleh. Sedangkan pengelasan fusi berlangsung sesudah sebagian logam induknya meleleh [2]. Tipe *friction welding* yang sering digunakan dalam industri manufaktur untuk menyambungkan benda bulat adalah *continuous drive friction welding*.

*Continuous drive friction welding* adalah penyambungan dua material dimana salah satu material berputar dan material yang lain bergerak maju untuk membuat tekanan terhadap ujung material yang berputar [3].

Benda kerja dalam proses pengelasan gesek mengalami empat perubahan fase yang berbeda yaitu: fase *solid*, fase transisi, fase *steady* dan fase pendinginan. Gesekan mulai terjadi pada fase *solid* dimana panas akan mulai timbul akibat gesekan kedua material dan mengalami peningkatan panas seiring dengan kecepatan putar dan tekanan yang diberikan. Pada fase transisi, material cair mulai terbentuk sebagai akibat dari peningkatan panas yang sedang berlangsung. Setelah itu, pada awal fase *steady* tingkat pencairan material sama dengan tingkat aliran keluaran material cair. Segera setelah fase ini telah tercapai, ketebalan lapisan cair adalah konstan. Fase *steady* dipertahankan sampai masukan energinya maksimal. Setelah itu terjadilah fase pendinginan dan pemadatan sehingga terbentuklah sambungan [4].

Kemampuan suatu material dalam menyerap panas menyebabkan terjadinya

perbedaan ukuran butir pada daerah sambungan antara kedua sisi material. Luas permukaan kontak berpengaruh terhadap seberapa besar panas yang akan dihasilkan dalam proses penyambungan dalam waktu dan tekanan yang sama. Gaya yang diterima oleh benda kerja akan menghasilkan tekanan yang lebih besar pada permukaan sisi kontak dengan luasan kontak kecil, sehingga waktu yang dibutuhkan untuk memanaskan daerah sambungan bisa cepat tercapai [5].

*Friction welding* memiliki beberapa keuntungan dibanding dengan *fusion welding* yaitu: lebih menghemat material, dapat menyambung benda bulat maupun tidak bulat, dapat menyambung material yang serupa maupun menyambung material yang berbeda jenisnya. Tidak hanya aluminium, logam-logam lain seperti *stainless steel* atau bahkan aluminium dan *stainless steel* terbukti dapat dilas dengan metode *friction welding* [3].

Parameter proses yang penting dalam proses pengelasan gesek (*friction welding*) adalah waktu gesekan, tekanan gesekan, lama pemberian tekanan tempa dan kecepatan putar [6]. Faktor lain yang turut mempengaruhi hasil las gesek adalah sudut *chamfer* [7].

Penggunaan sudut *chamfer* yang tepat pada spesimen pengelasan gesek memberikan peningkatan kekuatan tarik sambungan las dibandingkan dengan spesimen tanpa sudut *chamfer* [8]. Semakin besar nilai gaya tekan akhir yang diberikan maka akan menurunkan prosentase porositas. Prosentase porositas yang besar akan menurunkan kekuatan tarik spesimen hasil pengelasan gesek begitu pula sebaliknya prosentase porositas yang semakin kecil juga akan meningkatkan kekuatan tarik spesimen hasil pengelasan gesek [9].

Dalam pengaplikasiannya di dunia industri manufaktur, hasil sambungan las gesek umumnya tidak hanya menerima beban tarik saja tetapi juga beban-beban lain salah satunya beban puntir. Untuk tercapainya gambaran mengenai kekuatan dan karakteristik material yang lebih lengkap maka diperlukan uji puntir pada hasil pengelasan gesek paduan Al-Mg-Si.

Selain ditinjau dari aspek kekuatan materialnya, pengujian dari segi cacat yang terjadi saat pengelasan juga diperlukan salah

satunya adalah porositas. Pengujian porositas diperlukan untuk mengukur dan mengetahui adanya rongga-rongga pada spesimen hasil las gesek Al-Mg-Si sebelum dilakukan pengujian puntir. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian tentang kekuatan puntir dan porositas hasil sambungan las gesek Al-Mg-Si dengan variasi *chamfer* dan gaya tekan akhir

## METODE PENELITIAN

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

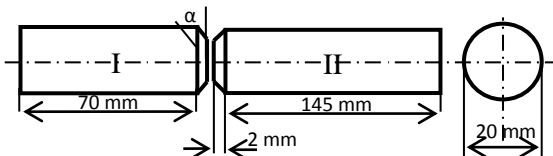
dengan menggunakan amplas #1000.

**Tabel 1.** Komposisi Kimia Al-Mg-Si (% berat)

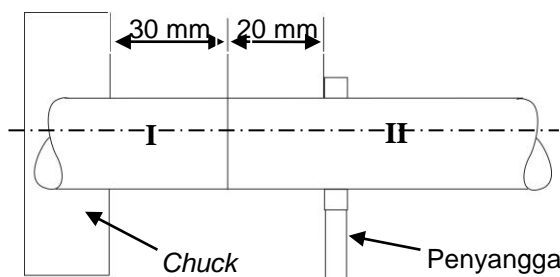
Kandungan	Nilai	Kandungan	Nilai
Unsur	(%)	Unsur	(%)
Si	0,6050	Pb	0,0014
Fe	0,1820	P	0,0006
Cu	0,2500	Sn	0,0006
Mn	0,0086	Sb	< 0,0004
Mg	0,8810	Sr	0,0001
Cr	0,1120	Be	0,00006
Zn	0,0108	Zr	0,0015
Ti	0,0182	Bi	< 0,0003
Na	0,0021	Cd	0,0010
Ca	0,0005	Al	97,900
Ni	0,0044		

Material awal untuk pembuatan spesimen pengelasan gesek berbentuk silinder pejal. Material tersebut dipotong dengan menggunakan *power hack saw* sesuai dengan ukuran yang diinginkan disertai dengan tambahan air *coolant* untuk meminimalisir timbulnya panas yang akan berdampak negatif pada hasil pemotongan spesimen. Material yang sudah dipotong kemudian dibentuk ujungnya dengan variasi sudut *chamfer* 0, 15°, 30°, 45° seperti terlihat

pada Gambar 1. Pembuatan sudut *chamfer* dilakukan dengan mesin bubut setelah itu dilakukan proses pengamplasan dengan tujuan untuk mengurangi gesekan. Pengamplasan dilakukan pada mesin bubut

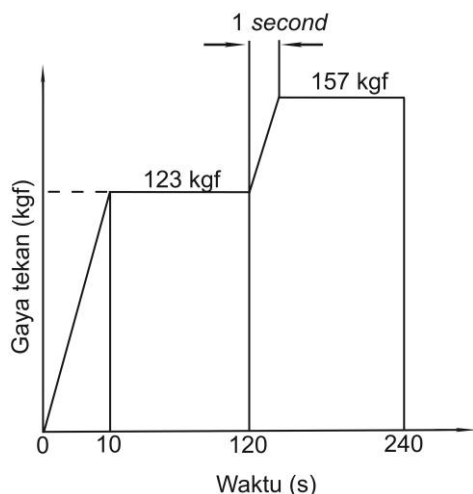


**Gambar 1.** Dimensi benda kerja dengan variasi sudut *chamfer* ( $\alpha$ ): 0, 15°, 30°, 45°



**Gambar 2.** Skema pengaturan jarak benda kerja pada mesin bubut.

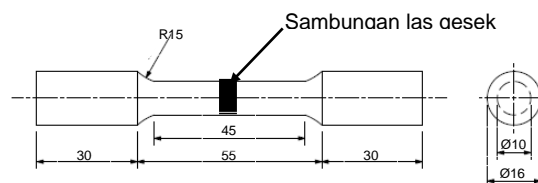
Proses pengelasan gesek dilakukan menggunakan mesin bubut dengan memasang benda kerja I pada *chuck*, benda kerja II pada alat bantu cekam seperti pada Gambar 2.



**Gambar 3.** Skema pemberian gaya tekan awal dan akhir

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 157 kgf, 185 kgf, dan 202 kgf selama 2 menit. Metode yang digunakan untuk menghasilkan gaya tekan awal dan akhir adalah dengan memanfaatkan gaya tekan pegas yang ditempatkan dalam sebuah alat bantu cekam yang dipasang pada *tail stock*. Dengan memutar *hand wheel* pada *tail stock* akan menaikkan gaya tekan pegas pada benda kerja II. Skema pemberian gaya tekan awal dan akhir dapat dilihat pada Gambar 3.

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.



satuan: mm

**Gambar 4.** Spesimen Uji Puntir Standar ASTM E-143[10]

Untuk proses pengujian puntir, spesimen dibentuk berdasarkan standart ASTM seperti pada Gambar 4. Agar spesimen tidak mengalami panas berlebih yang menimbulkan efek negatif seperti struktur material yang berubah akibat panas, selama proses pemesinan digunakan air *coolant*. Gambar 4 pula menunjukkan dimensi benda kerja yang akan digunakan dalam penelitian.

Untuk mengetahui kekuatan puntir maksimum, terlebih dahulu dilakukan 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* [11], dengan menggunakan persamaan 1 sementara rincian jumlah spesimen yang

digunakan untuk pengujian porositas dan pengujian puntir ditunjukkan pada Tabel 2.

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

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>)

**Tabel 2.** Jumlah Spesimen Uji Porositas dan Uji Puntir

No.	Kombinasi Perlakuan	Jumlah spesimen (pcs)
1.	$\alpha = 0^\circ$ ; F = 157, 185, dan 202 kgf	9
2.	$\alpha = 15^\circ$ ; F = 157, 185, dan 202 kgf	9
3.	$\alpha = 30^\circ$ ; F = 157, 185, dan 202 kgf	9
4.	$\alpha = 45^\circ$ ; F = 157, 185, dan 202 kgf	9
	Total	36

Keterangan:

$\alpha$  = Besar sudut chamfer

F = Gaya tekan akhir

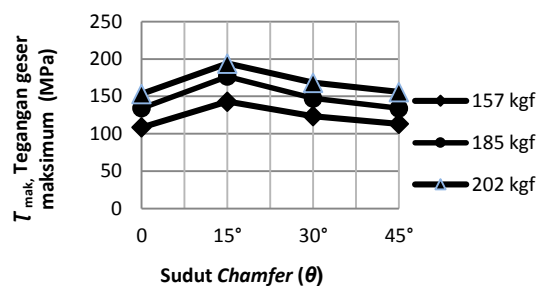
### HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pengujian puntir dapat diketahui nilai tegangan geser maksimum dari masing-masing spesimen dengan variasi sudut dan gaya tekan akhir. Hubungan antara kekuatan puntir dengan sudut *chamfer* serta gaya tekan akhir tersaji pada Gambar 6

Dari gambar 6 kekuatan puntir hasil sambungan las gesek Al-Mg-Si tertinggi terdapat pada spesimen dengan sudut *chamfer* 15° dan gaya tekan akhirnya 202 kgf, dengan nilai kekuatan puntirnya adalah 193,93 MPa. Sedangkan kekuatan puntir hasil sambungan las gesek Al-Mg-Si terendah terdapat pada spesimen dengan sudut *chamfer* 0 dan gaya tekan akhirnya 157 kgf, dengan nilai kekuatan puntirnya adalah 108,63 Mpa.

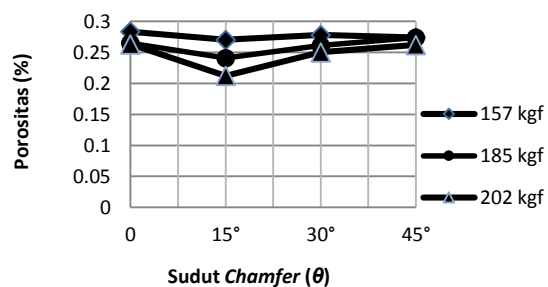
Dengan penambahan sudut *chamfer* pada kedua permukaan benda kerja akan

menyebabkan menurunnya luas permukaan kontak sehingga gaya yang diterima benda kerja akan meningkatkan tekanan yang lebih besar pada permukaan sisi kontak dengan luasan kontak kecil. Peningkatan tekanan inilah yang menyebabkan pemanasan pada daerah las menjadi lebih cepat tercapai sehingga proses difusi dapat berlangsung lebih cepat pula.



**Gambar 6.** Grafik hubungan antara sudut *chamfer*, gaya tekan akhir dan kekuatan puntir

Spesimen hasil *friction welding* yang menggunakan sudut *chamfer* memiliki durasi difusi yang berlangsung lebih lama dibandingkan permukaan kontak tanpa menggunakan sudut *chamfer* dalam waktu pengelasan yang sama. Durasi difusi yang berlangsung lebih lama inilah yang akan menghasilkan sambungan las yang baik sehingga akan meningkatkan kekuatan puntirnya.



**Gambar 7.** Grafik hubungan antara sudut *chamfer*, gaya tekan akhir dan porositas.

Kekuatan puntir sambungan hasil *friction welding* juga dipengaruhi oleh prosentase

porositas yang terdapat pada spesimen pengujian puntir. 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 7.

Dari pengujian porositas pada spesimen uji puntir dapat diketahui bahwa porositas hasil sambungan las gesek Al-Mg-Si tertinggi terdapat pada spesimen dengan variasi sudut *chamfer* 0 dan gaya tekan akhirnya 157 kgf, dengan nilai porositas sebesar 0.28 %. Sedangkan porositas hasil sambungan las gesek Al-Mg-Si terendah terdapat pada spesimen dengan variasi sudut *chamfer* 15° dan gaya tekan akhirnya 202 kgf, dengan nilai porositas sebesar 0.21 %. Spesimen dengan penambahan sudut *chamfer* pada kedua permukaan benda kerja akan menyebabkan menurunnya luas permukaan kontak sehingga akan meningkatkan tekanan pengelasan. Peningkatan tekanan inilah yang menyebabkan gas-gas yang terdapat pada area lasan terdorong keluar, sehingga akan menurunkan prosentase porositas yang terjadi selama proses *friction welding* berlangsung. Dengan nilai prosentase porositas yang semakin kecil maka akan meningkatkan kekuatan puntir sambungan hasil *friction welding*.

#### KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan ini bisa diambil kesimpulan yaitu:

1. Semakin menurunnya sudut *chamfer* dan semakin besarnya gaya tekan akhir akan meningkatkan kekuatan puntir pada pengelasan gesek paduan Al-Mg-Si. Pada penelitian ini sudut *chamfer* 15° dengan gaya tekan akhir 202 kgf memiliki kekuatan puntir tertinggi yaitu sebesar 193,93 MPa.
2. Porositas akan menurun dengan semakin menurunnya sudut *chamfer* dan semakin besarnya gaya tekan akhir. Spesimen dengan sudut *chamfer* 15° dan gaya tekan akhirnya 202 kgf memiliki nilai porositas terendah yaitu sebesar 0.2122 %.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] ASM International, 2005, *Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials*. Metals Handbook Vol. 2. Materials Park. Ohio.
- [2] Sathiya, P., Aravindan, S. & Haq, A. N., 2007, Effect of Friction Welding Parameters on Mechanical and Metallurgical Properties of Ferritic Stainless Steel, *International Journal of Advanced Manufacture.*, Vol.31, 1076-1082.
- [3] Manufacturing Technology Inc., 1999, *Friction Welding*. Brochure of friction welding. MTI. Washington.
- [4] Sahoo, R. dan Samantaray P., 2007, Study of Friction Welding. Unpublished Thesis. Rourkela: Department of Mechanical Engineering National Institute of Technology Rourkela India.
- [5] Sahin, Mumin, 2007, Joining of Stainless steel and Aluminium Materials by Friction Welding, *International Journal of Advanced Manufacture Technology.*, Vol.41, 487-497
- [6] Kalpakjian, Serope, Steven R., & Oswald. 2001, *Manufacturing Engineering and Technology*. London: Prentice-Hall International.
- [7] Lin, C.B., Mu, C. K., Wu, W. W. dan Hung, C.H., 1999, *The Effect of Joint Design and Volume Fraction on Friction Welding Properties of A360/SiC Composites*. Welding Research Supplement. Department of Mechanical Engineering. Tamkang University. Taiwan.
- [8] 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. Switzerland: Trans Tech Publications
- [9] 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

- [10] American Society for Testing and Materials, 2004, *Standard Test Method for Torsion at Room Temperature*, ASTM Designation E143., Annual Book of ASTM Standards, Vol.3, No.1, 338-342
- [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.