

Analisa Pengaruh Durasi Gesek Dan Kecepatan Putaran Pada Paduan Al-Mg-Si Terhadap Kekuatan Tarik Hasil Pengelasan Gesek (Friction Welding)

Masyaril Huda¹, Marsono², Duwi Leksono Edy³

^{1,2,3} Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Malang

e-mail: masyaril.huda.1605116@students.um.ac.id, Marsono.ft@um.ac.id, duwi.leksono.ft@um.ac.id

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi durasi gesek dan kecepatan putaran terhadap nilai kekuatan tarik hasil pengelasan gesek pada paduan Al-Mg-Si. Rancangan penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan memakai desain pre-eksperimental model one shot case study. Hasil penelitian menunjukkan pada pengelasan gesek dengan kecepatan putar 800 rpm durasi gesek 60 detik menghasilkan nilai tarik tertinggi sebesar 174,9 Mpa sedangkan kecepatan putar 1600 rpm dengan durasi gesek 60 detik menghasilkan nilai kekuatan tarik sebesar 149,5 Mpa. nilai kekuatantarik semakin menurun dengan bertambahnya durasi gesek 80 detik dan 120 detik serta bertambahnya kecepatan putar nilai kekuatan tarik menurun.

Kata kunci: Durasi gesek, Kecepatan putaran, Kekuatan tarik, Pengelasan gesek.

Abstract: This study aims to determine the effect of variations in the duration of friction and rotational speed on the value of the tensile strength of the friction welding in Al-Mg-Si alloy. The design of this study used a quantitative approach using a pre-experimental design, one shot case study model. The results showed that friction welding with a rotational speed of 800 rpm, the duration of 60 seconds of friction produced the highest tensile value of 174.9 Mpa, while the rotational speed of 1600 rpm with a friction duration of 60 seconds resulted in a tensile strength value of 149.5 Mpa. the value of the tensile strength decreases with the increasing of the friction duration of 80 seconds and 120 seconds and the increasing of the rotational speed the value of the tensile strength decreases.

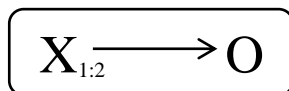
Keywords— Duration of friction, Rotation speed, Tensile strength, Friction welding.

Pengelasan adalah proses penggabungan dua atau lebih logam dengan menggunakan sumber panas untuk mencapai suhu tertentu. Pada proses pengelasan dapat menggunakan logam pengisi maupun tanpa bahan pengisi dan juga menggunakan tekanan ataupun tidak menggunakan tekanan. Penerapan teknologi pengelasan dalam suatu proses produksi terdapat pada beberapa bidang yang meliputi rangka baja, perkapalan, jembatan, industri otomotif, manufaktur dan masih banyak lagi. Pada proses manufaktur, teknologi sambungan las memiliki keunggulan yang lebih baik dengan teknologi penyambungan yang lain. Salah satu kelebihan dari sambungan las adalah memiliki efisiensi sambungan yang sangat tinggi. Efisiensi sambungan yang tinggi dan mampu digunakan pada temperatur tinggi, serta tidak ada batas ketebalan pada logam yang ingin di las. Teknologi pengelasan sangat banyak digunakan karena produksi lebih murah, meningkatkan nilai ekonomis dan produktivitas yang lebih baik. Penyambungan pengelasan dapat digolongkan menjadi dua yaitu, pengelasan fasa padat (solid state joining) dan pengelasan fasa cair (fusion welding). Salah satu contoh pengelasan fase cair (fusion welding) adalah pengelasan busur listrik (shield metal arc welding). Las busur listrik elektroda terbungkus ini banyak digunakan oleh masyarakat umum. Pengelasan jenis ini cocok hanya digunakan pada permukaan plat atau yang lainnya. Pengelasan pada benda pejal hanya dapat dilakukan pada sisi luar permukaan saja sehingga pengelasan fasa cair ini tidak dapat menembus sisi dalam dari logam yang ingin di las terutama yang berpenampang bulat. Untuk pengelasan keseluruhan permukaan dengan metode pengelasan fasa cair sangat sulit untuk direalisasikan dan memiliki kekurangan pada hasil lasan yang tidak bisa rapi serta tidak dapat mengikuti bentuk penampangnya. Kekurangan metode pengelasan fasa cair terutama las busur listrik elektroda terbungkus dapat diatasi dengan pengelasan gesek (friction welding). Pengelasan gesek (friction welding) merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mengatasi cacat atau masalah sambungan logam yang sulit dicapai dengan pengelasan fasa cair (fusion welding). Pengelasan gesek (friction welding) memiliki keunggulan dari pengelasan fasa cair yaitu dapat menyambungkan logam yang tak sejenis,

tidak menghasilkan percikan api, tidak menghasilkan asap dan tatal dan masih banyak yang lainnya. Proses penyambungan pengelasan gesek dinamakan solid state process (tanpa pencairan), yang dimana proses pengelasan gesek salah satu benda kerja diberikan putaran dan satunya diberikan gaya tekan. Kedua logam tersebut saling bergesekan dan nantinya akan menimbulkan panas pada kedua permukaan benda yang bergesekan hingga mencapai titik leburnya. Karena salah satu benda kerja menerima gaya tekan saat ujungnya meleleh, kemudian benda tersebut berhenti berputar dan mendingin maka terjadi proses penyambungan. Kuswandi (2010) dalam penelitiannya menjelaskan tentang pengaruh durasi gesek terhadap kekuatan impact pada paduan aluminium seri 6061, menunjukkan bahwa kekuatan impact material Al-Mg-Si akan menurun seiring dengan bertambahnya durasi gesek. Sedangkan kecepatan putar dan tekanan serta kekuatan tarik belum diteliti. Perlu diperhatikan dalam proses pengelasan gesek terdapat variabel yang sangat sensitif yaitu kecepatan putaran spindel mesin dengan memperhatikan temperatur pemanasan serta tekanan dikontrol dengan baik. Safarzadeh (2016) dalam penelitiannya menyimpulkan bahwa semakin tingginya kecepatan putar maka kekerasan aluminium seri 6061 akan semakin tinggi pula. Sedangkan variasi durasi gesek, variasi tekanan dan kekuatan tarik belum diteliti. Dalam beberapa penelitian sebelumnya kecepatan putar sangat berpengaruh terhadap besar kecilnya kekuatan tarik dan mempengaruhi bentuk dari struktur mikro hasil pengelasan, karena variasi kecepatan putar akan mengakibatkan terjadinya perbedaan temperatur sehingga bentuk dan ukuran struktur material pada spesimen hasil pengelasan akan berbeda-beda. Beberapa penelitian di atas menyebutkan bahwa durasi gesek dapat menurunkan kekuatan impact material Al-Mg-Si. Semakin tinggi durasi gesek maka kekuatan impact dari material Al-Mg-Si akan semakin menurun. Sedangkan pada penelitian Sathiya (2006) menjelaskan bahwa material ferrit stainless steel akan meningkat kekuatannya dengan semakin besar tekanan tempa dan tekanan gesek yang diterapkan selama proses pengelasan gesek.

METODE

Rancangan Penelitian ini memakai pendekatan kuantitatif merupakan metode yang digunakan pada suatu penelitian untuk menguji teori-teori tertentu dengan cara meneliti hubungan antar variabel dan variabel tersebut biasanya diukur dengan instrumen penelitian, sehingga hasilnya dapat di analisis dengan menggunakan prosedur statistik (Creswell, 2016). Maka penelitian ini menggunakan rancangan penelitian eksperimental dengan pendekatan kuantitatif (Arikunto, 2006:3). Metode penelitian eksperimen dapat diartikan sebagai metode penelitian yang digunakan untuk mencari pengaruh perlakuan tertentu terhadap yang lain dalam kondisi yang terkendali (Sugiyono, 2013:107). Dalam penelitian eksperimen ada perlakuan (treatment) dan penelitian dilakukan di laboratorium. Desain penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah pre-experimental dengan model desain one-shot case study dimana hasil dari penelitian tidak hanya dipengaruhi oleh variabel bebas (Sugiyono, 2018).



Gambar 1 Rancangan Penelitian

Keterangan

X = Perlakuan yang diberikan

O = Observasi hasil uji tarik

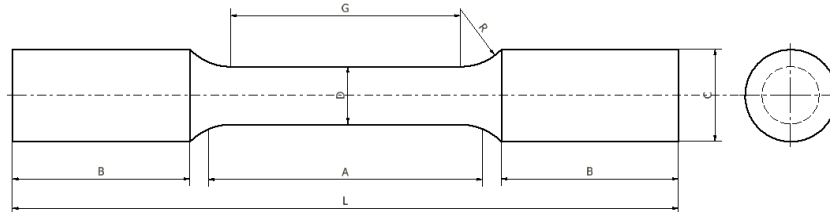
Penelitian ini menggunakan dua variasi kecepatan putar yaitu 800 rpm dan 1600 rpm untuk durasi gesek 60 detik, 80 detik dan 120 detik sedangkan tekanan tempa 8 mpa. Objek penelitian ini adalah kekuatan tarik sambungan pengelasan gesek. Material yang digunakan pada penelitian ini adalah paduan Al-Mg-Si atau yang umum di kenal dengan paduan aluminium dengan seri 6061 dengan komposisi yang ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel. 1 Kandungan Unsur Aluminium 6061

Nama	Si.	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
Aluminium 6061	0,60	0,33	0,27	0,030	0,89	0,074	0,049	0,026	97,7

Sumber: PT Sutindo Surya Sejahtera

Pada setiap spesimen pengelasan dilakukan tiga kali uji tarik untuk memperoleh nilai rata-rata dari hasil uji tarik tersebut, sehingga uji tarik dilakukan pada 18 spesimen yang berbeda. Untuk ukuran spesimen pengujian tarik berdasarkan standar ASTM E8/E8M-09 pada Gambar 2 dan Tabel 2.

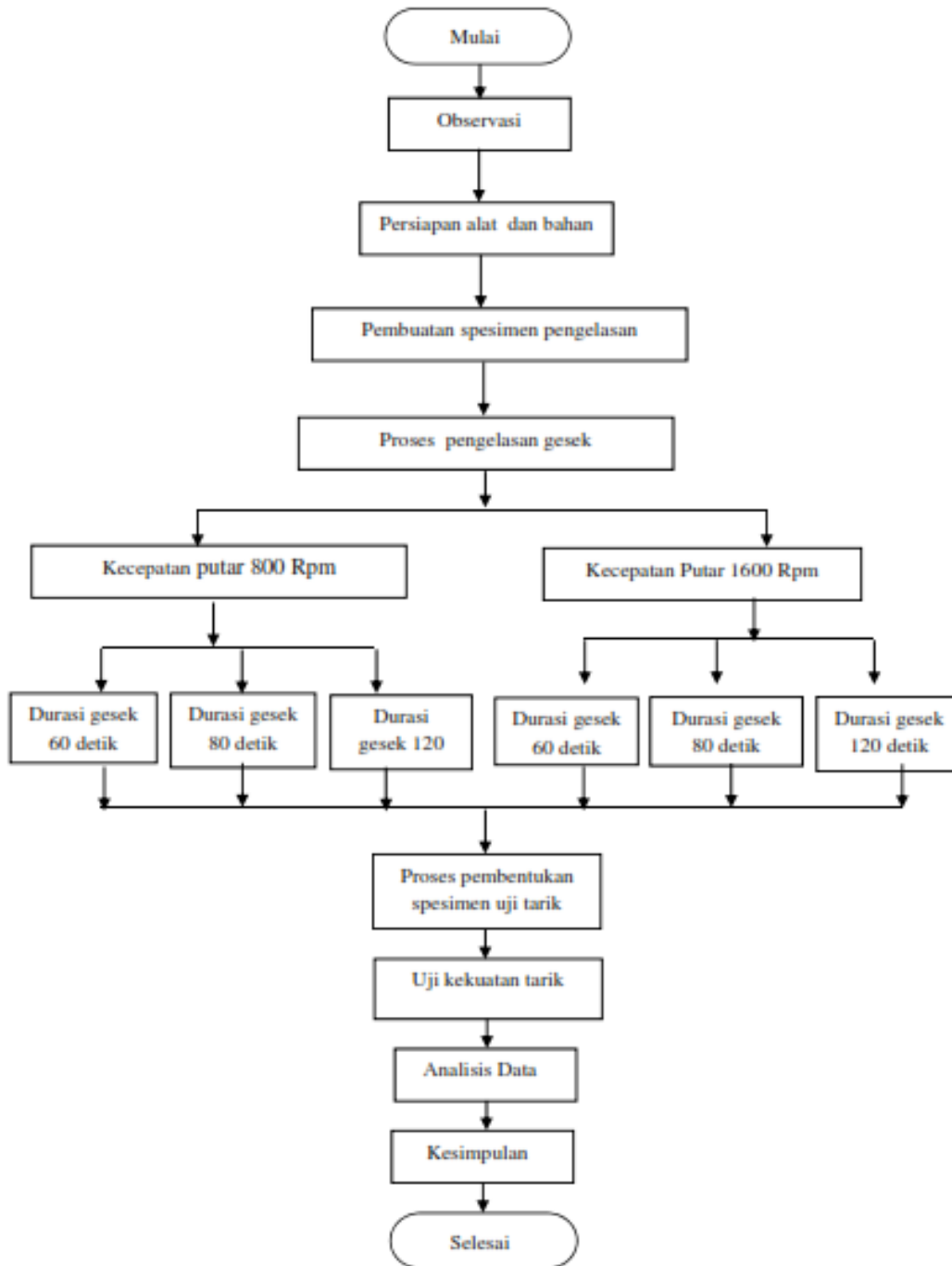


Gambar 2. Spesimen Uji Tarik Standar E8/E8M-09

Tabel 2. Dimensi Spesimen Uji Tarik Berdasarkan Standar E8/E8M-13a

Dimensions	
	mm [in.]
G – Gauge Length	50.0 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]
D – Diameter	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]
R – Radius of fillet, min.	10 [0.375]
L – Overall length	145 [5]
A – Length of reduced section, min	56 [2.25]
B – Length of grip section, min	35 [1.375]
C – Width of grip section, approximate	20 [0.75]

Sumber: ASTM E8/E8M-13a

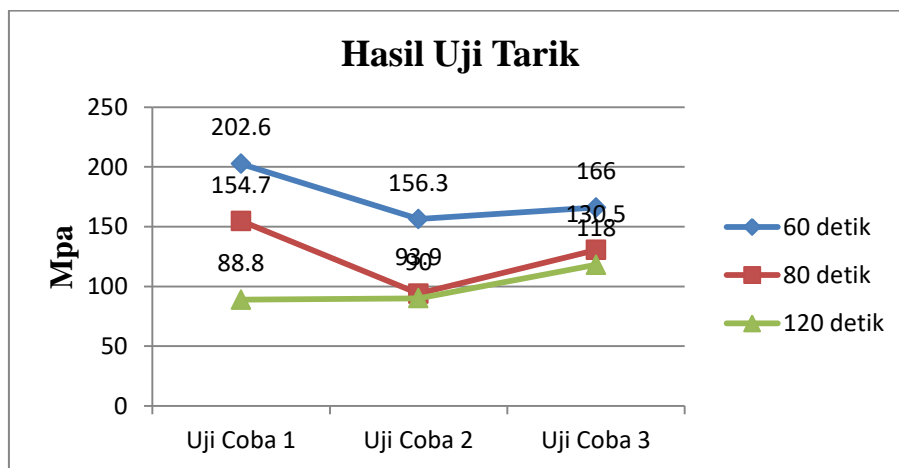


Gambar 3. Diagram Alur Penelitian

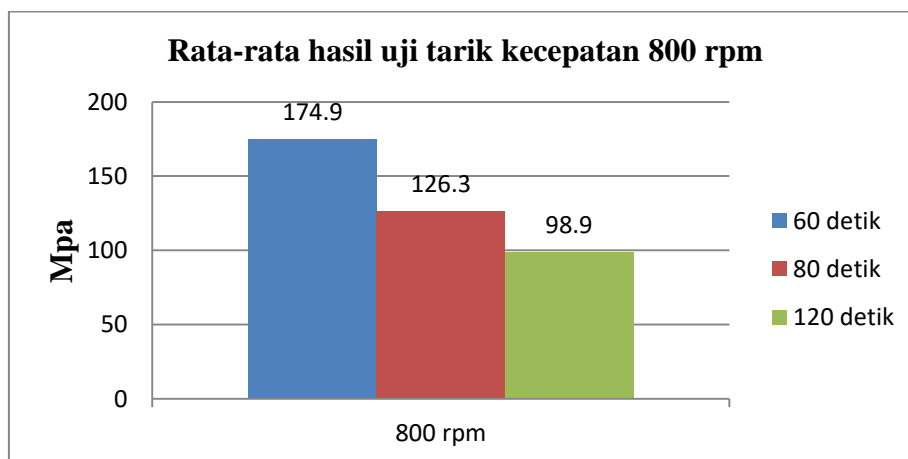
HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menghasilkan data berupa angka hasil dari pengujian kekuatan tarik pengelasan gesek menggunakan variasi kecepatan putar 800 rpm dan 1600 rpm dengan durasi gesek 60 detik, 80 detik dan 120 detik pada paduan Al-Mg-Si. Data hasil pengujian dipaparkan dalam bentuk tabel guna mempermudah untuk pembacaannya. Selain dalam bentuk tabel hasil data dari pengujian kekuatan tarik juga akan dipaparkan dalam bentuk diagram dan grafik sebagai perbandingannya.

Kekuatan Tarik Pada Variasi Kecepatan Putar 800 Rpm Durasi Gesek 60, 80 Dan 120 Detik Pada Tekanan Tempa 8 Mpa.



Gambar 4. Grafik Hasil Kekuatan Tarik Pengelasan Gesek Kecepatan Putar 800 Rpm Dengan Durasi Gesek 60 Detik, 80 Detik Dan 120 Detik

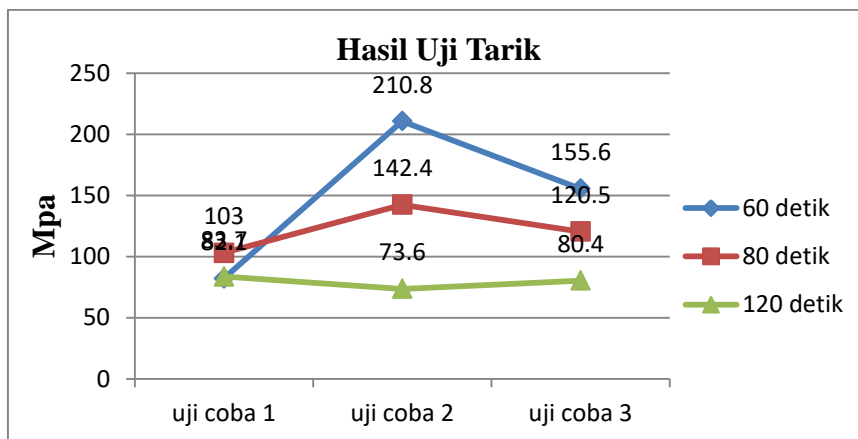


Gambar 5. Diagram Hasil Kekuatan Tarik Pengelasan Gesek Kecepatan Putar 800 Rpm Dengan Durasi Gesek 60 Detik, 80 Detik Dan 120 Detik

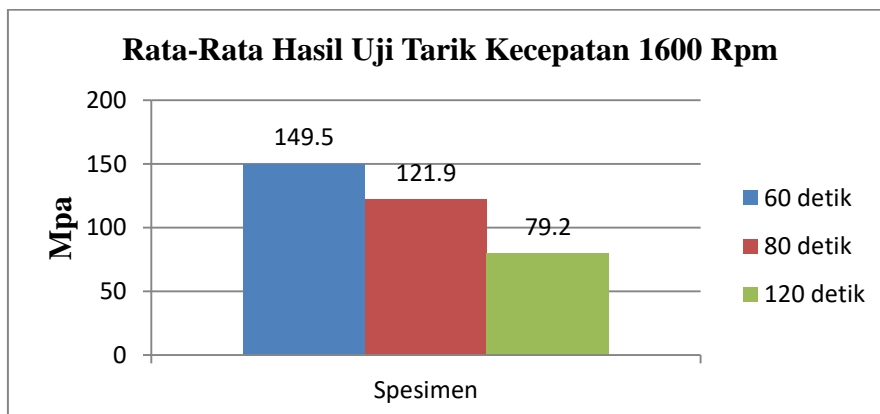
Pada gambar 4 dan 5 tersebut dapat dijelaskan terjadi peningkatan dan penurunan hasil kekuatan tarik setelah mengalami proses pengelasan gesek dengan variasi kecepatan putar 800 rpm dengan durasi gesek 60 detik, 80 detik dan 120 detik. Pada gambar 4 dapat dilihat rata-rata hasil uji tarik ditinjau dari variasi durasi gesek. Kekuatan tarik yang ada pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa setiap mengalami penambahan durasi maka semakin rendah kekuatan tarik dari paduan aluminium Al-Mg-Si. Pada durasi gesek 60 detik dengan kecepatan putar 800 rpm memiliki nilai rata-rata hasil uji tarik yang paling tinggi dari durasi gesek 80 dan 120 detik yaitu sebesar 174,9 Mpa. Sedangkan variasi durasi 80 detik mengalami

penurunan kekuatan tarik yang signifikan dari variasi durasi 60 detik yaitu sebesar 126,3 Mpa. Pada durasi 120 detik memiliki nilai rata-rata hasil uji tarik sebesar 98,9 Mpa dan pada variasi ini memiliki nilai uji tarik yang paling rendah dari kedua variasi yang lain. Sehingga dapat disimpulkan dari hasil penelitian yang sudah dilakukan bahwa durasi gesek berpengaruh terhadap kekuatan tarik hasil pengelasan gesek. Hal tersebut sejalan dengan penelitian Kuswandi (2010), kekuatan hasil pengelasan gesek akan turun dengan semakin bertambahnya durasi gesek, dikarenakan dengan semakin besarnya durasi gesek (friction time) maka akan menghasilkan daerah HAZ yang lebar. Sambungan las yang memiliki daerah terkena panas (HAZ) yang sempit akan menghasilkan kekuatan impact sambungan las yang tinggi juga (Avinash et al, 2007). Semakin besar daerah HAZ yang terbentuk maka akan semakin rendah kekuatan tarik yang dihasilkan dari pengelasan gesek tersebut. Pada daerah HAZ terjadi perubahan struktur material dari logam induknya. Struktur material yang terbentuk di daerah HAZ menjadi lebih besar dan homogen, sehingga gaya ikat antar atom menjadi lebih tinggi mengakibatkan semakin besar energi yang akan diserap material untuk mematahkan spesimen.

Kekuatan Tarik Pada Variasi Kecepatan Putar 1600 Rpm Durasi Gesek 60, 80 Dan 120 Detik Pada tekanan Tempa 8 Mpa.



Gambar 6. Grafik Hasil Kekuatan Tarik Pengelasan Gesek Kecepatan Putar 1600 Rpm Dengan Durasi Gesek 60 Detik, 80 Detik Dan 120 Detik



Gambar 7 Diagram Hasil Kekuatan Tarik Pengelasan Gesek Kecepatan Putar 1600 Rpm Dengan Durasi Gesek 60 Detik, 80 Detik Dan 120 Detik

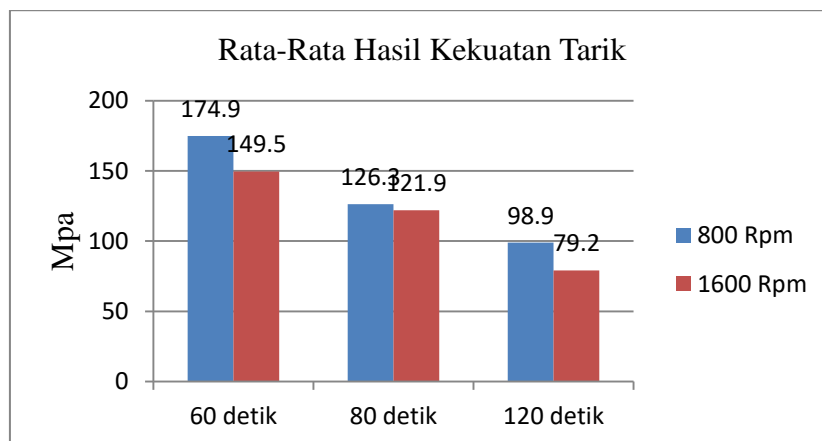
Pada gambar 6 dan 7 tersebut dapat dijelaskan terjadi peningkatan dan penurunan hasil kekuatan tarik setelah mengalami proses pengelasan gesek (Friction welding) dengan variasi kecepatan putar 1600 rpm dengan durasi gesek 60 detik,

Analisa Pengaruh Durasi Gesek Dan Kecepatan Putaran Pada Paduan Al-Mg-Si

80 detik dan 120 detik. Pada gambar 6 dapat dilihat rata-rata hasil uji tarik ditinjau dari variasi durasi gesek. Kekuatan tarik yang ada pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa, setiap mengalami penambahan durasi maka semakin rendah kekuatan tarik dari paduan aluminium Al-Mg-Si. Pada durasi gesek 60 detik dengan kecepatan putar 1600 rpm memiliki nilai rata-rata hasil uji tarik yang paling tinggi dari durasi gesek 80 dan 120 detik yaitu sebesar 149,5 Mpa. Sedangkan variasi durasi 80 detik mengalami penurunan kekuatan tarik dari variasi durasi 60 detik yaitu sebesar 121,9 Mpa. Pada durasi 120 detik memiliki nilai rata-rata hasil uji tarik sebesar 79,2 Mpa dan pada variasi ini memiliki nilai uji tarik yang paling rendah dari kedua variasi yang lain. Sehingga dapat disimpulkan dari hasil penelitian yang sudah dilakukan bahwa durasi gesek berpengaruh terhadap kekuatan tarik hasil pengelasan gesek. Hal tersebut sejalan dengan penelitian Bahasa (2011), dalam penelitian terapan dari las gesek dalam memproduksi komponen as sepeda motor didapatkan bahwa semakin lama waktu gesek (25, 35, 45 detik) semakin meningkat kekuatan sambungannya namun akan menurun kembali ketika waktu geseknya semakin lama (55, 65 detik). Sejalan dengan penelitian ini, Nurcahyono (2010) menjelaskan pada penelitiannya bahwa efek durasi gesek pada pengelasan menghasilkan distribusi kekerasan dan menghasilkan temperatur yang bervariasi.

Hal tersebut dikarenakan dengan semakin besarnya durasi gesek (friction time) maka akan menghasilkan temperatur yang tinggi. Perubahan temperatur yang tinggi akan menghasilkan HAZ yang lebar. Luasan HAZ yang lebar itu akan mengakibatkan kekuatan tarik benda uji semakin kecil. Dikarenakan pada daerah HAZ mengalami perubahan struktur material yang berbeda dengan logam induknya. Struktur material yang terbentuk pada daerah HAZ semakin besar dan homogen. Sehingga gaya ikat antar atom menjadi lebih tinggi dan semakin besar energi yang akan diserap material untuk mematahkan spesimen.

Kekuatan Tarik Hasil Pengelasan Gesek Variasi Kecepatan Putar 800 Rpm dan 1600 Rpm Dengan Durasi Gesek 60 Detik, 80 Detik dan 120 Detik Pada Tekanan Tempa 8 Mpa.



Gambar 8 Diagram Hasil Kekuatan Tarik Pengelasan Gesek Kecepatan Putar 1600 Rpm Dengan Durasi Gesek 60 Detik, 80 Detik Dan 120 Detik

Pada gambar 8 menunjukkan rata-rata hasil kekuatan tarik dari paduan aluminium Al-Mg-Si setelah mengalami proses pengelasan gesek dengan variasi kecepatan putar 800 rpm dan 1600 rpm dan variasi durasi gesek 60 detik, 80 detik, dan 120 detik serta tekanan tempa sebesar 8 Mpa. Diagram batang di atas bisa di analisa kekuatan tarik hasil pengelasan gesek pada paduan aluminium Al-Mg-Si selalu mengalami penurunan seiring bertambahnya durasi gesek, penurunan kekuatan tarik tersebut dialami oleh kedua variasi kecepatan putar yaitu 800 rpm dan 1600 rpm. Hal tersebut diakibatkan karena temperatur pada saat kedua permukaan spesimen bergesekan mengalami peningkatan. Peningkatan temperatur setelah bergesekan memberikan efek terhadap besar atau kecilnya daerah HAZ yang terbentuk serta berpengaruh terhadap nilai kekuatan tarik dari hasil pengelasan gesek (friction welding).

Kekuatan tarik yang dihasilkan pada kecepatan 800 rpm dengan durasi gesek 60 detik memiliki rata-rata kekuatan tarik yang sangat tinggi yaitu sebesar 174,9 Mpa serta temperatur yang dihasilkan sebesar 4080C dan kekuatan tarik yang rendah sebesar 98,9 Mpa pada durasi gesek 120 detik. Sedangkan pada variasi kecepatan putar 1600 rpm dengan durasi gesek yang sama yaitu 60 detik menghasilkan rata-rata kekuatan tarik yang sangat tinggi yaitu sebesar 149,5 Mpa serta temperatur yang dihasilkan sebesar 4510C dan rata-rata kekuatan tarik terendah pada variasi durasi gesek 120 detik yaitu sebesar 79,2 Mpa. Dapat diketahui dari data tersebut bahwa nilai rata-rata kekuatan tarik dari variasi kecepatan putar 800 rpm dan 1600 rpm mengalami penurunan kekuatan tarik dengan seiring bertambahnya durasi gesek. Namun nilai kekuatan tarik pada kecepatan

putar 800 rpm dengan durasi gesek 60 detik menghasilkan kekuatan tarik yang lebih tinggi dari pada variasi kecepatan putar 1600 dengan durasi gesek 60 detik perbedaan kekuatan tarik tertinggi tidak hanya pada durasi gesek 60 detik saja akan tetapi terjadi juga pada durasi gesek 80 detik dan 120 detik. Kekuatan tarik dengan variasi kecepatan 800 rpm selalu memiliki nilai kekuatan tarik tertinggi dari variasi kecepatan putar 1600 rpm. Hal

Sejalan dengan penelitian ini, Hartanto (2020) pada penelitiannya mengatakan bahwa variasi kecepatan 1010 Rpm memiliki kekuatan impact lebih tinggi di dibandingkan dengan dengan spesimen dengan variasi kecepatan 1800 Rpm. Hal ini disebabkan karena pada proses pengelasan gesek ini memiliki momen inersia, kecepatan putaran akan meningkatkan kecepatan pembangkitan temperatur di permukaan pada tahap tekanan gesek, sedangkan pada proses pengelasan kecepatan putar akan tetap konstan. Hal ini menunjukkan bahwa kecepatan putaran mempengaruhi cepat lambatnya temperatur yang dibangkitkan, namun semakin tinggi kecepatan putaran maka momen inersia yang dihasilkan juga semakin besar sehingga membutuhkan gaya pengereman yang semakin besar juga. Semakin besar gaya yang di butuhkan untuk fase pengereman maka akan mempengaruhi proses ikatan difusi kedua spesimen.

PENUTUP

Penelitian yang telah dilakukan oleh penulis dapat disimpulkan bahwa adanya pengaruh durasi gesek dan kecepatan putar pada paduan Al-Mg-Si terhadap kekuatan tarik hasil pengelasan gesek. Hal tersebut dilihat dari bertambahnya durasi gesek mulai dari 60, 80 dan 120 detik akan mengalami penurunan kekuatan tarik. Sedangkan kecepatan putar juga mempengaruhi hasil kekuatan tarik pengelasan gesek tersebut. Kekuatan tarik tertinggi pada variasi putaran 800 rpm dan durasi gesek 60 detik yaitu sebesar 174,9 Mpa. Namun variasi kecepatan putar spindel 1600 rpm dengan durasi gesek 60 detik memiliki nilai kekuatan tarik yang tertinggi yaitu 149,5 Mpa. Sedangkan dengan bertambahnya durasi gesek menjadi 80 detik dan 120 detik nilai kekuatan tarik semakin menurun. Hal tersebut membuktikan semakin bertambahnya durasi gesek maka daerah HAZ semakin besar pula. Pada penelitian ini kekuatan tarik pengelasan gesek dipengaruhi oleh durasi gesek dan kecepatan putar spindel. Pada durasi gesek 60 detik, 80 detik dan 120 detik selalu mengalami penurunan kekuatan tarik terhadap variasi kecepatan putar 800 rpm dan 1600 rpm. Kecepatan putar 800 rpm memiliki kekuatan tarik tertinggi pada durasi gesek 60 detik yaitu 174,9 Mpa sedangkan kecepatan putar 1600 rpm dengan durasi gesek yang sama memiliki kekuatan tarik yang lebih rendah yaitu sebesar 149,5 Mpa. dari hal tersebut dapat disimpulkan juga bahwa kecepatan putar juga mempengaruhi hasil kekuatan tarik.

DAFTAR RUJUKAN

- Angelia, A. F. 2015. *Pengaruh Penambahan Magnesium (Mg) Pada Paduan Aluminium Silikon (Al-Si) Terhadap Tingkat Kekerasan Dan Struktur Mikro*. Skripsi tidak diterbitkan. Malang. Fakultas Teknik. Universitas Negeri Malang.
- Arikunto, S. 1990. *Metode Penelitian*. Jakarta: Angkasa
- Arikunto, S. 2006. *Prosedur Penelitian Suatu Pendekatan Praktik*. Jakarta: Rineka Cipta.
- ASTM E8/E8M-09. 2010. *Standart Test Methods For Tension Testing Of Metallic Materials*.
- Bahasa, M. H. 2011. *Analisa pengaruh waktu gesekan dengan metode direct drive frictionwelding terhadap struktur mikro dan sifat mekanik baja St 41 sebagai alternative pengganti proses produksi as roda sepeda motor*, Tugas Akhir D3 Teknik Mesin, FTI, ITS Surabaya.
- Lin, C. B., Wu, W. W., Mu, C. K. & Hung, C. H.. 1999. *The Effect of Joint Design and Volume Fraction on Friction Welding Properties of A360/SiC (p) Composites*. <https://www.researchgate.net/>. Tamkang University. Tiongkok.
- Hartanto I. M. & Rasyid, A. H. A. 2020 *Analisa Pengaruh Axial Force Dan Rotational Speed Pada Proses Repair Axle Shaft Bekas Menggunakan Friction Welding Terhadap Ketangguhan Axle Shaft*, <https://journal.unesa.ac.id/index.php/jo>.
- Khany S. E., Mehdi S. N. & Ahmed, G. M. S. (2015). *An Analytical Study of Dissimilar Materials Joint Using Friction Welding and It's Application*. International Journal of Scientific and Research Publications, Volume 5, Issue 2, February 2015 1 ISSN 2250-3153. <http://www.ijsrp.org/research-paper-0215/ijsrp-p3846.pdf>
- Kuswandi, A. 2010. *Pengaruh Friction time Terhadap Kekuatan Impact Sambungan Las Gesek Pada paduan Al-Mg-Si*. Skripsi tidak diterbitkan. Malang. Fakultas Teknik. Universitas Brawijaya.
- M. Avinash, G. V. K. Chaitanya, D. K. G., Sarala U., & Muralidhara, B. K.. 2007. *Microstructure and Mechanical Behaviour of Rotary Friction Welded Titanium Alloys*. Proceedings Of World Academy Of Science. ISSN 1307-6884.

- Nurchayono, E. 2010. *Analisa Pengaruh Waktu Gesekan Terhadap Struktur Mikro dan Sifat Mekanik (Uji Kekerasan & Kekuatan Tarik) Pipa Baja ASTM A106 Dengan Metode Friction Welding*. <http://digilib.its.ac.id/public/ITS-paper-20013-2107030022-presentation.pdf> Surabaya: Institut Teknologi Surabaya.
- Rizka G. F. M. 2017. *Analisa Kecepatan Putar, Durasi Gesek, Dan Tekanan Terhadap Kekuatan Tarik Hasil Pengelasan Gesek (Friction Welding)*. Skripsi tidak diterbitkan. Malang. Fakultas Teknik. Universitas Negeri Malang.
- Safarzadeh M., Noor A. F. M. & Basheer, U. M.. (2016). Effect of friction speed on the properties of friction welded Alumina-Mullite Composite to 6061 Aluminum alloy. *Journal of the Australian Ceramic Society* Volume 52[2], 2016, 134 – 142 . <https://austceram.com/wp-content/uploads/2016/06/17-JACS-52-2-Marijal-134-142.pdf>
- Sahoo, R. & Samantaray, P. 2007. *Study of Friction Welding*. Unpublished Thesis. Rourkela: Department of Mechanical Engineering National Institute of Technology Rourkela India.
- Saleh, M. 2004. *Pengaruh variasi Putaran dan Tekanan Terhadap Sifat Mekanis Sambungan Pengelasan Gesek Pada Paduan Aluminium*. Skripsi tidak diterbitkan. Malang. Fakultas Teknik. Universitas Brawijaya.