



Pengaruh Konfigurasi Sudut *Chamfer Male-Female* dan Lama Gesek terhadap Karakteristik Hasil Pengelasan dan Kekuatan Tarik Paduan Aluminium 6061

Kasijanto^{1*}, Sadar Wahjudi¹, Listiono¹

¹ Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang, Indonesia

* kasijanto@polinema.ac.id

INFORMASI ARTIKEL

Naskah Diterima 27/10/2018
Naskah Direvisi 17/12/2018
Naskah Disetujui 26/12/2018
Naskah Online 31/12/2018

ABSTRAK

This study aims to analyze the effect of male-female chamfer configuration in a rotary friction welding of Aluminium 6061. The male-female chamfer configuration tend to make an inner chamfer and outer chamfer shape between two connected materials. The chamfer angle analyzed varies in 30°, 45°, and 60° where the friction time also varies in 1 and 2 minute(s). The results shows that the tensile strength increased along with smaller chamfer angle and longer friction time. The largest tensile strength of 33.92 kgf/mm² was obtained in the variation B30. The smallest tensile strength of 12.20 kgf/mm² gained in specimen A60. Smaller chamfer angle leads to a larger friction areas which caused the welding contact areas also wider. The male-female chamfer method sloppeily increase the contact area by 78%, 33% and 12% than normal circle profile.

Keywords: rotary friction welding, male-female configuration, tensile strength

1. PENDAHULUAN

Metode las gesek (*friction welding*) merupakan metode baru dalam proses pengelasan. Seperti halnya pengelasan pada umumnya, proses pengelasan dengan metode las gesek menggunakan energi gesek yang berubah menjadi panas untuk menyambung dua buah logam. Jenis metode tersebut memiliki sumber energi panas yang dihasilkan oleh gesekan bahan yang disambung. Di mana dua bahan logam baik sejenis maupun tidak sejenis diberikan gaya mekanik berupa gerakan gesekan (yang disertai dengan penekanan). Adanya kenaikan temperatur dari gerakan saling bergesekan tersebut dapat merubah fase solid dari logam menjadi fase transisinya. Ketika kedua logam yang disambung sudah mencapai titik leburnya, maka proses penyambungan kedua bahan logam terjadi. Keunggulan dari metode las gesek adalah tidak diperlukannya energi panas dari sumber eksternal baik dari listrik maupun proses pembakaran, sehingga dapat menekan biaya produksi. Proses pengelasan yang terjadi pada permukaan sentuh kedua logam menghasilkan luasan pengelasan yang lebih besar dibandingkan dengan metode pengelasan lain yang luasan pengelasannya hanya berada pada tepian kontak logam yang disambung. Dengan adanya luasan pengelasan yang berada pada seluruh permukaan bidang yang disambung, maka memungkinkan jenis sambungan las gesek untuk menerima beban puntir yang lebih besar,

sehingga pada penerapannya las gesek sangat sesuai untuk digunakan pada proses penyambungan poros maupun bahan logam yang memiliki profil berbentuk lingkaran.

Dalam penelitian ini metode las gesek digunakan untuk menyambung bahan aluminium. Logam aluminium merupakan jenis bahan yang memiliki kekuatan cukup tinggi dengan massa jenis yang rendah. Hal tersebut membuat logam aluminium memiliki cakupan penggunaan yang sangat luas, namun logam tersebut mempunyai sifat pengelasan yang kurang baik dikarenakan titik lelehnya yang rendah, sehingga tingkat kesulitan dalam proses penyambungan aluminium cukup tinggi. Metode las gesek yang tidak menggunakan sumber panas eksternal membuat metode tersebut sangat cocok untuk diterapkan pada proses penyambungan logam Aluminium. Sumber panas dari gesekan antar dua logam Aluminium yang disambung dapat meminimalisir terjadinya deformasi yang tidak diinginkan seperti yang terjadi pada pengelasan Aluminium dengan metode pengelasan yang lainnya.

Beberapa parameter yang berpengaruh pada las gesek antara lain lama waktu pengelasan, kecepatan putar, dan besar gaya penekanan. Salah satu inovasi yang mulai dikembangkan saat ini adalah pemberian sudut *chamfer* pada kedua spesimen untuk mengurangi terdapatnya *flash*. Kekuatan tarik pada pengelasan gesek Aluminium paduan Al-Mg-Si semakin meningkat dengan semakin kecilnya sudut *chamfer* dan semakin besarnya gaya tekan akhir [1].

Sedangkan pengaruh panjang *chamfer* didapatkan bahwa panjang *chamfer* yang lebih besar dapat meningkatkan kekuatan tarik dari sambungan las gesek [2]. Dari kedua penelitian sebelumnya modifikasi permukaan berupa pemberian *chamfer* dengan konfigurasi pengelasan secara *male to female*. Hal tersebut membuat proses gesekan awal hanya terjadi pada luasan penampang diameter tempa yang lebih kecil, sehingga untuk dapat menghasilkan peningkatan temperatur dibutuhkan gaya tekan yang lebih tinggi.

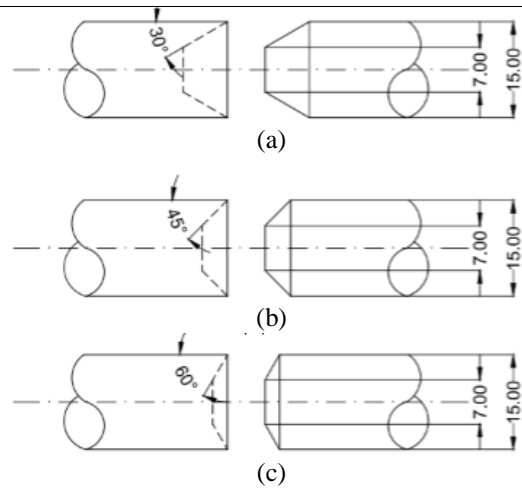
Logam Aluminium paduan 6061 memiliki paduan utama Al-Mg-Si. Logam ini mempunyai sifat kekuatan mekanik yang tinggi serta kemampuan tahan korosi yang baik. Aluminium 6061 banyak digunakan sebagai komponen mesin, alat berat, dan konstruksi gedung. Metode penyambungan Aluminium dengan menggunakan las fusi menghasilkan efisiensi sambungan yang cukup rendah. Spesifikasi dari paduan Aluminium memiliki densitas 2.7 gram/cm³, kekuatan tarik 124-290 MPpa, modulus Young 68.9 GPa, titik lebur 585°C, konduktivitas termal 151-202 W/m K, dan kalor spesifik sebesar 897 J/kg K [3].

Titik lebur paduan yang cukup rendah yakni berkisar 585°C membuat logam jenis tersebut sulit disambung menggunakan metode pengelasan cair, terutama pada logam dengan bentuk silinder pejal, sehingga metode las gesek dapat digunakan sebagai solusi penyambungan poros paduan logam Aluminium AA 6061. Penelitian tersebut mengusulkan sebuah gagasan baru menggunakan penambahan *chamfer* dengan konfigurasi *male to female* yang mana antara kedua bahan logam yang akan disambung memiliki perlakuan *chamfer* dalam dan *chamfer* luar. Modifikasi tersebut dapat meningkatkan luasan permukaan gesekan bahkan lebih luas daripada luasan penampang tempa tanpa *chamfer*. Dengan adanya luasan permukaan gesekan yang lebih besar, gaya gesek yang dihasilkan juga semakin besar, sehingga dengan menggunakan metode tersebut besar daerah hasil lasan yang semakin besar diharapkan dapat meningkatkan kekuatan sambungan Aluminium. Selain hal tersebut dengan gaya gesek yang semakin besar, maka besar gaya tekan dan kecepatan putar yang dibutuhkan juga semakin menurun, sehingga efisiensi dari proses sambungan las gesek dapat meningkat.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Metode Chamfer Male-Female

Dalam proses persiapan spesimen, bahan dasar berbentuk silinder pejal dipotong dengan menggunakan gergaji mesin. Terdapat penggunaan *coolant* pada saat proses pemotongan bahan untuk menghindari terjadinya perubahan fase dikarenakan panas akibat proses pemotongan. Bahan dasar berdiameter 15 mm sepanjang 80 mm. Setelah proses pemotongan, spesimen dibentuk sebagaimana Gambar 1 dengan menggunakan mesin bubut.



Gambar 1. Perlakuan *chamfer male-female* pada spesimen (a) 45°, (b) 60° dan (c) 30°

Kode spesimen A mewakili spesimen dengan variasi lama waktu gesek 1 menit, sedangkan spesimen B mewakili spesimen dengan variasi lama waktu gesek 2 menit.

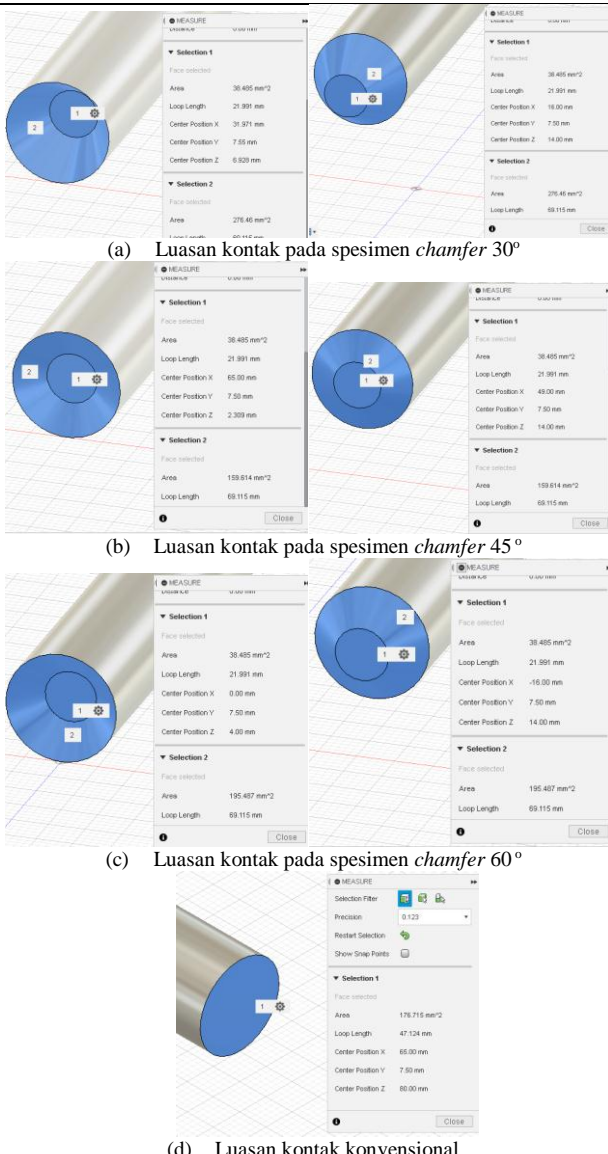
Tabel 1. Variasi perlakuan spesimen

No	Spesimen	Sudut Chamfer	Lama gesek
1	A30	30°	60 s
2	A45	45°	60 s
3	A60	60°	60 s
4	B30	30°	120 s
5	B45	45°	120 s
6	B60	60°	120 s

Luas penampang gesekan berpengaruh kepada besarnya gaya gesek yang terjadi. Semakin besar gaya gesek, panas yang dihasilkan akibat gesekan semakin besar pula. Dengan menggunakan metode *male-female*, maka luasan penampang gesekan yang didapatkan lebih besar daripada metode konvensional dengan diameter yang sama.

Luas permukaan gesekan juga menjadi salah satu kriteria yang berpengaruh pada kekuatan las sambungan. Dengan semakin besarnya luasan penampang pengelasan, maka kekuatan tarik lasan juga semakin besar. Meskipun demikian masih banyak faktor lain yang juga mempengaruhi kekuatan hasil lasan pada las gesek.

Dengan menggunakan metode grafis bantuan software 3D didapatkan nilai luasan permukaan kontak masing-masing spesimen. Luasan kontak gesekan pada spesimen *male* dan *female* memiliki luasan yang sama. Hasil dari pengolahan dengan bantuan *software* sebagaimana Gambar 2.



Gambar 2. Luasan kontak pada setiap spesimen dengan menggunakan visualisasi software 3D

Luasan penampang gesekan terbesar didapatkan pada spesimen *chamfer* 30° dengan jumlah total luasan 314,-945 mm². Luasan penampang spesimen *chamfer* 45° dan 60° masing-masing berjumlah 234,-972 mm² dan 198,-099 mm². Sedangkan luasan penampang gesekan pada profil konvensional 176,-715 mm². Hal tersebut menyebabkan pada variasi *chamfer* 30°, 45° dan 60° memiliki luasan yang lebih besar dengan luasan konvensional hingga 178%, 133% dan 112%.



(a) Spesimen A

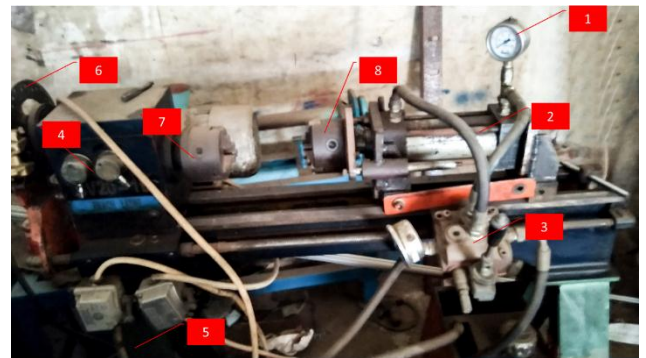


(b) Spesimen B

Gambar 3. Hasil pembentukan spesimen metode *chamfer male-female*

2.2. Metode Pengelasan Gesek

Media pengelasan gesek *rotary* pada penelitian adalah mesin bubut, dengan menggunakan penambahan alat ukur gaya tekan pada saat penekanan pengelasan gesek. Rangkaian dari mesin las gesek sebagaimana Gambar 4. Dasar dari mesin las gesek adalah menggunakan konstruksi mesin bubut yang telah dimodifikasi.



Keterangan:

1. *Pressure gauge*
2. Sistem pneumatik
3. Tuas pengendali pneumatik
4. *Gearbox* pengatur kecepatan putaran *spindle*
5. Tuas pengereman putaran *spindle*
6. Rem cakram motor listrik
7. Pencekam spesimen berputar (*chuck*)
8. Pencekam spesimen bergerak (*toolpost*)

Gambar 4. Instalasi mesin pengelasan gesek rotary

Prinsip kerja dari mesin las gesek adalah menggunakan putaran motor listrik yang telah ditransmisikan dengan menggunakan *gear box* sebagai pemutar spesimen dan gaya dorong dari sistem pneumatik sebagai penggerak spesimen. Transmisi *gear box* digunakan untuk mereduksi putaran motor listrik yang dapat diatur dengan menggunakan tuas pengendali (nomor 5). Sedangkan untuk keperluan menghentikan putaran motor digunakan saklar pemutus hubungan listrik. Agar putaran terhenti dengan seketika digunakan pula rem cakram (nomor 6), sehingga ketika lama waktu gesek sudah tercapai posisi spesimen putar dalam keadaan diam. Pada *toolpost* dimodifikasi dengan menggunakan tambahan sistem pneumatik (nomor 2), sehingga dapat diatur kuat gaya tekan yang diberikan. Sistem tersebut menggunakan pengendali berupa tuas (nomor 3) yang dapat menggerakkan pneumatik untuk maju dan mundur. Sebagai alat ukur gaya tekan yang diberikan, sebuah *pressure gauge* dihubungkan pada ruang

kompresi, sehingga ketika terdapat kenaikan tekanan akibat gaya reaksi dari spesimen tekanan pada ruang kompresi naik sebesar penekanan yang diberikan.

Tahapan penggunaan alat adalah sebagai berikut:

- Pengecekan awal konfigurasi listrik. Proses tersebut untuk memastikan bahwa semua komponen dapat berfungsi dengan baik. Pengecekan meliputi komponen motor listrik, pneumatik, pengereman dan alat ukur *pressure gauge*.
- Penyetelan putaran pada 1500 rpm. Pada proses tersebut dilakukan kalibrasi pada *chuck* dengan menggunakan tachometer. Penyetelan dilakukan dengan menggunakan tuas pengatur kecepatan pada *gearbox* dan asupan daya dari motor listrik
- Pemasangan spesimen pada mesin las gesek. Proses pemasangan spesimen meliputi penyetelan tingkat kelurusan dari spesimen, sehingga dapat meminimalisir terjadinya *misaligned*. Spesimen *female* dipasang pada *chuck* sedangkan spesimen *male* dipasang pada *toolpost*. Sebelum dilaksanakan proses pengelasan kedua spesimen didekatkan hingga berjarak ± 50 mm.
- Motor listrik mulai dioperasikan dan spesimen *male* digerakkan hingga menyentuh spesimen *female*. Besar penekanan ketika penggesekan adalah 5 kg/cm².
- Sesaat setelah mencapai tekanan gesek yang ditentukan, perhitungan waktu dimulai. Proses penggesekan dilakukan hingga mencapai rentang variasi lama gesek yakni 1 menit dan 2 menit
- Setelah mencapai lama waktu gesek, motor dimatikan dan dilakukan pengereman secara bersamaan. Spesimen gerak ditekan hingga mencapai tekanan tempa yang telah ditentukan yakni 15 kg/cm². Setelah rentang waktu tempa yakni 1 menit spesimen dilepaskan dari pencekam dan dilakukan pendinginan secara alami dengan menggunakan udara.
- Prosedur c hingga f diulangi untuk spesimen berikutnya



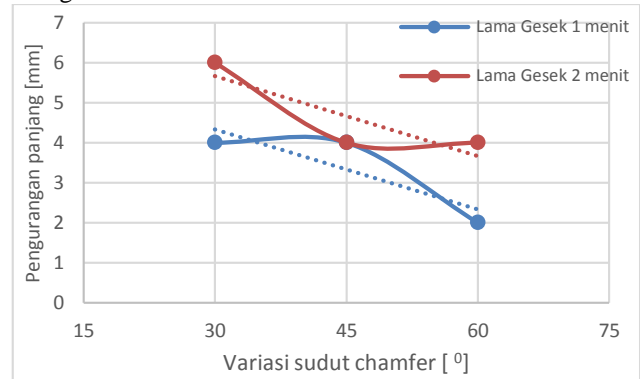
Gambar 5. Percobaan pencekaman spesimen

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Perubahan Panjang Spesimen

Akibat gaya penekanan dan proses fusi dari spesimen yang saling bergesekan menimbulkan terjadinya deformasi yang mana timbul pengurangan panjang pada spesimen. Terdapatnya pengurangan panjang yang bervariasi pada setiap variasi spesimen. Hasil dari pengukuran panjang

awal dan panjang akhir spesimen setelah pengelasan sebagaimana Gambar 6.



Gambar 6. Pengaruh variasi sudut *chamfer male-female* dan lama waktu gesek terhadap perubahan panjang

Pengaruh dari lama waktu gesek terhadap perubahan panjang sebagaimana Gambar 6 bahwa semakin lama waktu gesek menimbulkan perubahan panjang yang semakin besar. Hal tersebut disebabkan oleh semakin lama waktu gesek menghasilkan temperatur akibat gesekan yang semakin besar. Luasan perpindahan panas yang terjadi juga semakin besar, sehingga semakin banyak zona Aluminium yang memiliki temperatur tinggi. Oleh karena itu dengan besar tekanan tempa yang sama, spesimen dengan waktu gesek yang lebih lama mengalami proses fusi yang lebih dalam.

Terlihat pada Gambar 3 bahwa di kedua variasi lama waktu gesek dan sudut *chamfer* terdapat kecenderungan pada sudut *chamfer* yang semakin besar pengurangan panjang yang terjadi semakin kecil. Hal tersebut disebabkan oleh luasan permukaan gesekan yang lebih besar pada spesimen dengan variasi sudut *chamfer* lebih kecil. Luasan permukaan gesekan yang semakin besar mengakibatkan gaya reaksi akibat gaya gesek semakin besar. Gaya gesek yang terjadi terkonversi menjadi energi panas yang berfungsi untuk meleburkan kedua spesimen agar menghasilkan sambungan.

3.2 Bentuk *Flash* Hasil Pengelasan

Bentuk *upset* yang terjadi merupakan hasil dari terdapatnya pengurangan panjang setelah pengelasan. Akibat adanya gaya tekan pengelasan gesek, sebagian volume bahan yang mengalami pemanasan akibat gesekan memiliki ketahanan terhadap deformasi yang rendah, sehingga terbentuknya *flash* pada proses pengelasan gesek sangat dipengaruhi oleh lama waktu gesek dan menunjukkan sisi *flash* setelah dilakukannya proses las gesek [4].



Gambar 7. Flash pada sepsimen A30

Pada gambar 7 terlihat bahwa pada daerah sisi sambungan spesimen *female* terdapat perbesaran diameter akibat adanya dorongan dari spesimen *male*. Hal ini menyebabkan besarnya pengurangan panjang sebelum dan setelah pengelasan.



Gambar 8 Flash pada sepsimen A45

Spesimen A45 mengalami sedikit cacat akibat adanya misalignment pada sambungan spesimen. Hal tersebut menyebabkan lebar *flash* yang lebih lebar pada salah satu sisinya. Profil yang tidak merata tersebut dapat mengakibatkan pemusatan tegangan yang tidak merata.



Gambar 9. Flash pada spesimen A60

Spesimen A60 memiliki *flash* yang relatif kecil. Jika dibandingkan pada kedua sisi *male* dan *female* lebar dan kedalaman *flash* terlihat semakin seimbang. Hal tersebut disebabkan oleh luasan penampang gesekan yang lebih mendatar karena sudut *chamfer* yang besar.



Gambar 10. Flash pada sepsimen B30

Selaras dengan *flash* yang terjadi pada spesimen A30, spesimen B30 memiliki bentuk *flash* yang lebih besar pada sisi *female*-nya. Jika dibandingkan dengan spesimen A30, spesimen B30 memiliki lebar *flash* yang lebih besar. Hal tersebut sebanding dengan semakin besarnya perubahan panjang pada spesimen B30. Proses gesek yang lebih lama menyebabkan temperatur yang dihasilkan sebelum proses penekanan tempa lebih besar, sehingga pada spesimen dengan variasi lama gesek 2 menit semakin banyak luasan daerah dari Aluminium yang memiliki temperatur tinggi untuk melebur.



Gambar 11. Flash pada spesimen B45

Spesimen B45 memiliki daerah *flash* yang juga lebih besar dibandingkan A45. Meskipun memiliki profil *chamfer* yang sama, namun faktor lama waktu gesek berpengaruh pada terjadinya deformasi akibat gaya tekan.

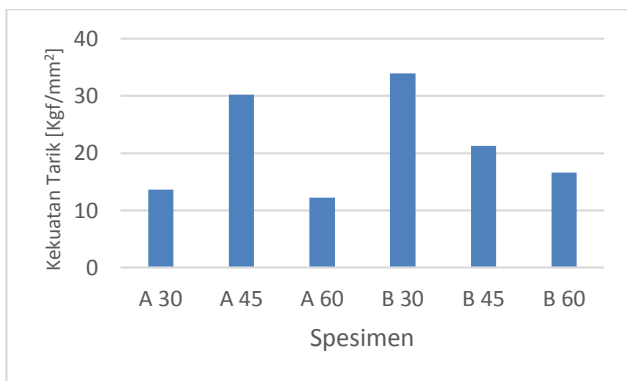


Gambar 12. Flash pada spesimen B45

Spesimen B60 memiliki diameter akhir yang hampir seragam antara sisi *male* dan *female*-nya. Serupa dengan spesimen A60, nilai *chamfer* yang relatif besar menyebabkan profil yang hampir merata, sehingga penetrasi dari spesimen *male* tidak terlalu dalam.

3.3 Kekuatan Tarik Sambungan Las

Hasil dari proses pengelasan gesek diuji ketahanannya dengan menggunakan uji tarik [5]. Parameter utama yang didapatkan dari proses uji tarik adalah kekuatan tarik dari sambungan las gesek. Gambar 13 menunjukkan data pengaruh variasi sudut *chamfer male-female* dan lama waktu gesek terhadap kekuatan tarik sambungan las.



Gambar 13. Pengaruh variasi sudut *chamfer male-female* dan lama waktu gesek terhadap kekuatan tarik

Tampak dari Gambar 14 bahwa kekuatan tarik terbesar yakni senilai 33,92 kgf/mm² didapatkan pada variasi sudut *chamfer* 30° dengan lama waktu gesek 2 menit. Sedangkan nilai kekuatan tarik terkecil yakni 12,20 kgf/mm² didapatkan pada variasi sudut *chamfer* 60° dengan lama waktu gesek 1 menit.

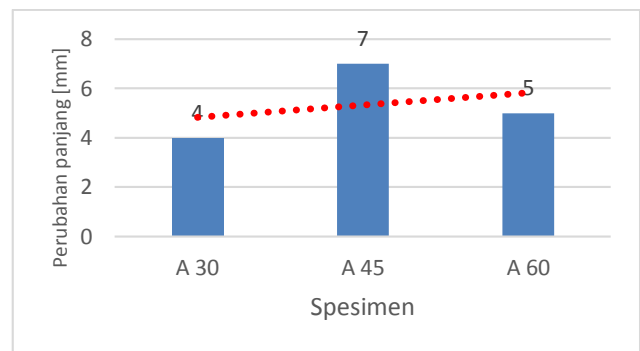
Jika diamati secara keseluruhan dapat dilihat bahwa spesimen dengan lama waktu gesek 2 menit (spesimen B) memiliki keenderungan kekuatan tarik yang lebih besar dari pada spesimen dengan lama waktu gesek 1 menit (A). Hal tersebut disebabkan proses pemanasan yang lebih lama pada spesimen B mengakibatkan temperatur hasil pemanasan dari spesimen juga semakin besar dan merata.

Pada kedua spesimen A dan B memiliki kecenderungan kekuatan tarik yang semakin kecil pada sudut *chamfer* yang semakin besar. Hal tersebut disebabkan oleh luasan

permukaan gesekan yang lebih besar pada spesimen dengan variasi sudut *chamfer* yang lebih kecil, sehingga luasan penampang gesekan yang semakin besar menyebabkan daerah sambungan las yang semakin besar pula. Hal yang cukup berbeda tampak pada spesimen A45 yang disebabkan oleh terdapatnya cacat *misalignment* ketika proses pengelasan.

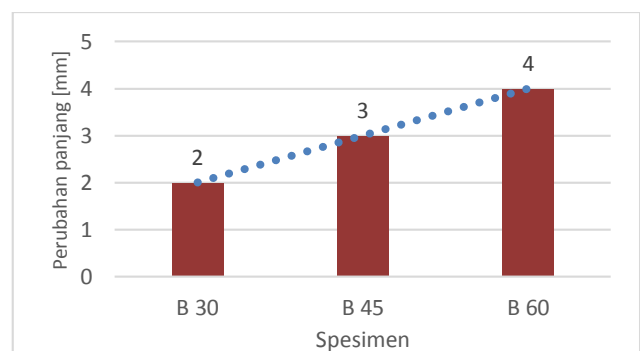
Secara umum jika dibandingkan dengan penelitian-penelitian sebelumnya, nilai kekuatan tarik pada penelitian tersebut menunjukkan pengujian tarik tertinggi diperoleh dari variasi 30°/120 detik dengan nilai sebesar 15,86 kgf/mm² [6] sedangkan pada penelitian ini didapatkan nilai kekuatan tarik tertinggi sebesar 33,92 kgf/mm²

Satu diantara karakteristik lain yang juga didapatkan pada pengujian tarik adalah data perubahan panjang yang terjadi.



Gambar 14. Pengaruh variasi sudut *chamfer male-female* dengan lama waktu gesek 1 menit terhadap perubahan panjang

Perubahan panjang tertinggi dihasilkan oleh spesimen A45 dengan besar perubahan panjang 7 mm. Hal tersebut dikarenakan adanya cacat *missalignment* pada spesimen A45, sehingga terdapat gaya tarik yang terkonversi menjadi momen. Perubahan panjang yang terkecil didapatkan pada spesimen A30 yakni sebesar 4 mm. Garis putus-putus pada Gambar 14 menunjukkan kecenderungan dari data yang mana terdapat peningkatan perubahan panjang seiring dengan semakin besarnya sudut *chamfer*. Hal tersebut dapat membuktikan bahwa semakin besar luasan penampang gesekan (sudut *chamfer* semakin kecil, maka semakin getas pula sambungan yang dihasilkan.



Gambar 15. Pengaruh variasi sudut *chamfer male-female* dengan lama waktu gesek 1 menit terhadap perubahan panjang

Perubahan panjang tertinggi dihasilkan oleh spesimen B60 yang mana dihasilkan perubahan panjang sebesar 4 mm. Sedangkan perubahan panjang terendah dihasilkan pada spesimen B30 yakni sebesar 2 mm. Selaras dengan kecenderungan pada spesimen dengan lama waktu gesek 1

menit bahwa semakin besar sudut *chamfer* menghasilkan perubahan panjang yang semakin besar. Sedangkan jika diamati hasil perubahan panjang yang dihasilkan spesimen B rata-rata menunjukkan perubahan panjang yang lebih kecil daripada spesimen A. Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin lama waktu penggesekan dapat menghasilkan sambungan spesimen yang semakin getas

4. KESIMPULAN

Simpulan dari hasil pembahasan diantaranya:

- 1) Metode *chamfer male-female* dapat meningkatkan luasan permukaan gesekan, sehingga daerah luasan kontak lasan pun turut meningkat. Dengan menggunakan sudut *chamfer* 30⁰ daerah permukaan gesekan meningkat sebesar 78% lebih besar daripada profil lingkaran dengan diameter yang sama. Metode tersebut juga menghasilkan *flash* yang terbentuk cenderung lebih besar pada spesimen *female*-nya, dan
- 2) Kekuatan tarik hasil lasan cenderung meningkat seiring dengan semakin kecilnya sudut *chamfer*. Hal tersebut dikarenakan lebih besarnya daerah luasan kontak lasan pada sudut *chamfer* yang lebih kecil. Pengaruh lama waktu gesekan terhadap kekuatan tarik memiliki kecenderungan yang linier di mana semakin lama waktu gesek maka kekuatan tariknya semakin tinggi pula. Hal tersebut disebabkan oleh temperatur hasil gesekan yang lebih terdistribusi secara merata pada spesimen dengan lama waktu gesek yang lebih lama

Saran tindak lanjut atas simpulan diantaranya:

- 1) Perlu diupayakan penelitian dengan tujuan meminimalisir terjadinya *flash*, dan
- 2) Perlu dilakukan uji lentur atas hasil pengelasan putar-tekan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Santoso, E. B, Irawan, Y. S dan Sutikno, S 2012. 'Pengaruh Sudut Chamfer DAN Gaya Tekan Akhir terhadap Kekuatan Tarik dan Porositas Sambungan Las Gesek pada Paduan Al-Mg-S'. Jurnal Rekayasa Mesin. Vol.03.01, pp 293-298
- [2] Partomuan Putra & Yohanes. 2016. 'Pengaruh Variasi Bentuk Permukaan Forging Sambungan Las Gesek Rotary terhadap Kekuatan Tarik Baja Mild Steel'. Jom FTEKNIK Vol 3 No.2 Oktober 2016
- [3] Perry H.R.. 1997. *Perry's Chemical Engineers' Handbook*. 7th ed. New York: McGraw-Hill
- [4] Setyawan P.E. Irawan Y.S., Suprpto W., 2014, "Kekuatan Tarik dan Porositas Hasil Sambungan Las Gesek Aluminium 6061 dengan Berbagai Suhu Aging". Jurnal Rekayasa Mesin Vol.5 No.2 pp: 141-148
- [5] ASTM E8 / E8M-16a, *Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials*, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016, www.astm.org
- [6] Wicaksana S.H., Mulyadi S., Syuhri A. 2016. 'Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Sambungan Las Aluminium 6061 Hasil Friction Welding'. Jurnal ROTOR, Volume 9., Nomor 1, April 2016

(Halaman ini sengaja dikosongkan)