

repository.ub.ac.id

**PENGARUH TINGGI KERUCUT SATU SISI DAN *BURN-OFF LENGTH*
TERHADAP SIFAT TARIK, TOTAL PEMENDEKAN DAN SUHU PENGELASAN
SAMBUNGAN LAS GESEK A6061-ST41**

M. Iqbal Fakhruddin, Yudy Surya Irawan, Hastono Wijaya

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Jl. MT. Haryono 167 Malang 65145, Indonesia

E-mail: m.iqbalfakhruddin@gmail.com, yudysir@ub.ac.id, whastono@gmail.com

ABSTRAK

Dalam dunia industri manufaktur, aluminium dan baja digunakan sebagai bahan utama proses produksi. Untuk mendapatkan produk yang memiliki keunggulan yang dimiliki aluminium dan baja, perlu dilakukan proses penyambungan antara aluminium dan baja. Proses penyambungan yang paling tepat untuk menyambungkan aluminium dan baja adalah proses pengelasan gesek. Pengelasan gesek adalah suatu metode penyambungan logam yang memanfaatkan panas akibat gesekan. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh tinggi kerucut satu sisi dan *burn-off length* terhadap sifat tarik, total pemendekan dan suhu pengelasan sambungan las gesek A6061-St41. Variasi yang digunakan pada penelitian ini adalah tinggi kerucut sebesar 0 mm, 1 mm, 2 mm dan 3 mm, serta *burn-off length* sebesar 3 mm, 5 mm dan 7 mm. Dari analisa yang telah dilakukan, didapat nilai kekuatan tarik tertinggi dihasilkan pada tinggi kerucut 3 mm *burn-off length* 3 mm sebesar 197,89 MPa dan kekuatan tarik terendah pada tinggi kerucut 0 mm *burn-off length* 7 mm sebesar 162,17 MPa. Untuk total pemendekan, nilai total pemendekan tertinggi terjadi pada tinggi kerucut 0 mm *burn-off length* 7 mm sebesar 17,4 mm dan total pemendekan terendah pada tinggi kerucut 3 mm *burn-off length* 3 mm sebesar 8,68 mm. Sedangkan untuk suhu pengelasan berupa suhu *flash* karena pengukuran hanya dilakukan di permukaan, nilai suhu *flash* tertinggi terjadi pada tinggi kerucut 0 mm *burn-off length* 7 mm sebesar 92,9°C dan suhu *flash* terendah pada tinggi kerucut 3 mm *burn-off length* 3 mm sebesar 50,56°C.

Kata kunci : Kerucut Satu Sisi, *Burn-off Length*, Las Gesek, Kekuatan Tarik, Total Pemendekan, Suhu *Flash*, A6061, St41

ABSTRACT

In manufacturing industry, aluminium and steel are used as the main material production process. To get a product that has the advantages of aluminium and steel, is necessary to the process of joining between aluminium and steel. The most appropriate joining process to join aluminium and steel is friction welding process. Friction welding is a metal joining methods that utilize heat caused friction. The purpose of this research is to determine the effect of single cone and burn-off length toward tensile strength, total shortening and welding temperature of friction weld joint A6061-St41. Variations used in this research is the single cone of 0 mm, 1 mm, 2 mm and 3 mm, as well as the burn-off length of 3 mm, 5 mm and 7 mm. From the analysis that has been done, the highest tensile strength values resulted on single cone 3 mm burn-off length 3 mm of 197,89 MPa and the lowest tensile strength values resulted on single cone 0 mm burn-off length 7 mm of 162,17 MPa. For the total shortening, the highest total shortening values resulted on single cone 0 mm burn-off length 7 mm of 17,4 mm and the lowest total shortening values resulted on single cone 3 mm burn-off length 3 mm of 8,68 mm. While for the welding temperature form is just flash temperature because the measurement of the temperature only performed on the surface, the highest flash temperature values resulted on single cone 0 mm burn-off length 7 mm of 92,9°C and the lowest flash temperature values resulted on single cone 3 mm burn-off length 3 mm of 50,56°C.

Keyword : Single Cone, *Burn-off Length*, Friction Welding, Tensile Strength, Total Shortening, *Flash Temperature*, A6061, St41

PENDAHULUAN

Dalam perkembangan di dunia industri terutama dalam bidang manufaktur dewasa ini semakin banyak pertimbangan untuk menggunakan material aluminium dan baja sebagai bahan utama. Pertimbangan tersebut karena aluminium memiliki sifat unggulan seperti ringan, memiliki kekuatan cukup baik, memiliki ketahanan terhadap korosi, sebagai konduktor panas dan listrik yang sangat baik, dan mudah dalam pembentukan. Sedangkan baja memiliki sifat baik sebagai bahan utama untuk produk-produk manufaktur, seperti memiliki kekuatan yang sangat tinggi, tahan lama dan memiliki kekakuan yang tinggi.

Dengan berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi, kebutuhan pasar akan produk yang memiliki banyak keunggulan juga berkembang. Salah satu cara mengatasinya adalah dengan proses penyambungan logam. Namun untuk menyambung dua material yang memiliki sifat mekanis berbeda seperti aluminium dan baja sangat sulit, cara yang paling tepat untuk penyambungan aluminium dan baja adalah dengan menggunakan metode pengelasan gesek (*friction welding*).

Pengelasan gesek (*friction welding*) adalah teknik yang digunakan untuk menggabungkan dua buah komponen dengan memanfaatkan gesekan. Dalam metode pengelasan ini, komponen didekatkan hingga terjadi kontak dengan salah satu komponen dalam keadaan berputar dan komponen yang lain dalam keadaan diam dan diberikan tekanan. Ketika temperatur permukaan yang bergesekan mencapai nilai yang sesuai, putaran dihentikan sementara tekanan tetap konstan atau ditambah [1].

Pengelasan gesek (*friction welding*) sangat cocok untuk menghasilkan produk sambungan aluminium dan baja. Hal ini dikarenakan pengelasan gesek (*friction welding*) dapat menyambungkan dua logam yang berbeda (*dissimilar metal*),

sehingga diharapkan sifat-sifat unggul dari aluminium dan baja dapat dimiliki oleh produk sambungan tersebut. Produk hasil sambungan ini juga memiliki beberapa keuntungan lain seperti biaya bahan baku yang kecil, tidak memerlukan fluks, tidak memerlukan elektroda dan tidak ada percikan api ataupun asap.

Dalam pengelasan gesek (*friction welding*) terdapat beberapa parameter yang mempengaruhi hasil sambungan, antara lain waktu gesekan (*friction time*), tekanan gesekan (*friction load*), waktu tempa (*upset time*), tekanan tempa (*upset load*) dan kecepatan putar [2]. Untuk menjaga kualitas hasil sambungan pengelasan gesek, perlu dilakukan pengujian untuk mengetahui aman tidaknya hasil sambungan pengelasan gesek. Salah satu pengujian yang tepat untuk dilakukan adalah pengujian tarik.

Taban, dkk [3] menyatakan bahwa pada pengelasan gesek aluminium 6061-T6 dan baja AISI 1018 didapat *upset pressure* terbaik di 60 MPa dengan nilai kekuatan tarik sebesar 250 MPa. Dari hasil tersebut disimpulkan bahwa semakin besar tekanan tempanya maka kekuatan tariknya juga semakin besar.

Irawan, dkk [4] menyatakan bahwa geometri kerucut satu sisi pada pengelasan gesek aluminium 6061 dengan kerucut satu sisi mempengaruhi kekuatan puntir sambungan las gesek dengan kekuatan puntir terbesar pada spesimen dengan perbandingan $d1/d2$ sebesar 0,2. Hal ini diakibatkan daerah Zpl yang terbentuk besar dan nilai porositas yang kecil pada sambungan las gesek.

Dari beberapa penelitian yang telah dilakukan masih belum diketahui pengaruh tinggi kerucut satu sisi dan *burn-off length* terhadap sifat tarik, total pemendekan dan suhu *flash* sambungan las gesek yang terbentuk. Dalam penelitian ini digunakan material aluminium A6061 dan baja St41.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah metode *true experimental* atau nyata dan langsung pada objek yang akan diteliti. Metode ini digunakan agar dapat mengetahui secara langsung pengaruh tinggi kerucut satu sisi dan *burn-off length* terhadap sifat tarik, total pemendekan dan suhu *flash* sambungan las gesek A6061-St41. Selain itu dilakukan juga kajian terhadap dasar teori yang ada dari beberapa buku dan jurnal untuk mendukung penelitian.

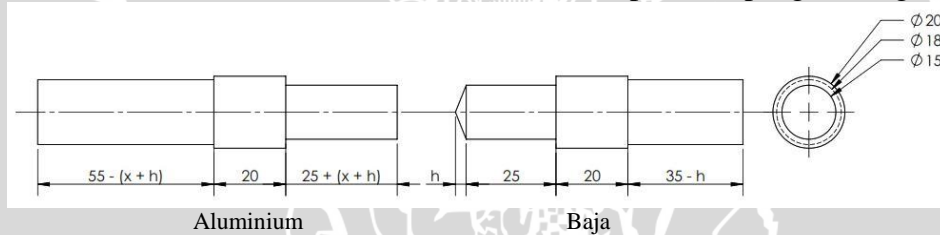
Variabel yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Variabel bebas
 1. Tinggi kerucut : 0 mm, 1 mm, 2 mm dan 3 mm
 2. *Burn-off length* : 3 mm, 5 mm dan 7 mm
2. Variabel terikat

1. Kekuatan tarik
2. Total pemendekan
3. Suhu *flash*
3. Variabel terkontrol
 1. Gaya penekanan hidrolik pada proses pengelasan 7 kN.
 2. Gaya penekanan hidrolik tambahan 17,5 kN.
 3. Putaran *spindle* sebesar 1600 rpm.
 4. *Upset Time* sebesar 10 s.

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah aluminium A6061 dan baja St41. Tabel 1 dan 2 adalah komposisi kimia aluminium A6061 dan baja St41 yang digunakan sebagai bahan penelitian.

Sebelum dilakukan pengelasan gesek, spesimen dibentuk sesuai desain terlebih dahulu. Berikut contoh dimensi desain spesimen pengelasan gesek :



Satuan : mm

Gambar 1 Dimensi spesimen pengelasan

Keterangan :

x = *Burn-off Length* (mm)

h = Tinggi Kerucut (mm)

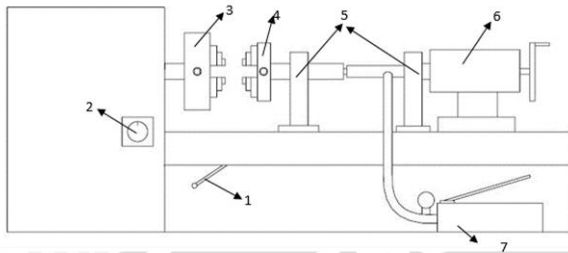
Tabel 1 Komposisi Kimia Bahan Pengujian Aluminium A6061

Unsur	Wt. %	Unsur	Wt. %	Unsur	Wt. %	Unsur	Wt. %
Al	97,95	Mg	0,775	Si	0,580	Na	0,0041
Cr	0,0770	Mn	0,0288	Ti	0,0190	P	<0,001
Cu	0,1652	Zr	0,0116	Zn	0,0377	Sb	<0,001
Fe	0,3224	Ni	0,0055	Pb	0,0038	Sr	<0,0002
Sn	<0,001	Bi	<0,001	Ca	0,0019		

Tabel 2 Komposisi Kimia Bahan Pengujian Baja St41

Unsur	Wt. %	Unsur	Wt. %	Unsur	Wt. %	Unsur	Wt. %
Fe	98,64	Si	0,185	S	0,011	W	0,092
C	0,165	Mn	0,450	P	0,08	Pb	0,0036
Cr	0,054	Mo	0,025	Ni	<0,0050	B	<0,0050
Al	0,016	Co	<0,001	Cu	0,071	Sn	0,005
Nb	0,044	Ti	<0,001	V	0,039		

Pada penelitian ini, proses pengelasan gesek dilakukan menggunakan mesin bubut yang telah dimodifikasi sedemikian rupa sehingga dapat digunakan untuk proses pengelasan gesek. Di bawah ini adalah skema instalasi pengelasan gesek yang digunakan :



Gambar 2 Skema instalasi pengelasan gesek

Keterangan :

1. Tuas *on/off* mesin bubut
2. Pengatur kecepatan putaran *spindle*
3. *Chuck* berputar
4. *Chuck* tidak berputar
5. Penyangga
6. *Tailstock*
7. Pompa hidrolis

Prosedur penelitian dalam proses pengelasan gesek adalah sebagai berikut :

1. Pemotongan benda kerja sesuai ukuran desain
2. Pembuatan kerucut pada benda kerja baja sesuai ukuran desain
3. Penghalusan permukaan kedua benda kerja
4. Pemasangan benda kerja aluminium pada *chuck* berputar dan baja pada *chuck* tidak berputar
5. Pengaturan kecepatan putaran *spindle* sebesar 1600 rpm
6. Mesin dihidupkan
7. Pengaturan gaya tekan yang diberikan pada saat bergesekan sebesar 7 kN
8. Proses pengelasan dimulai

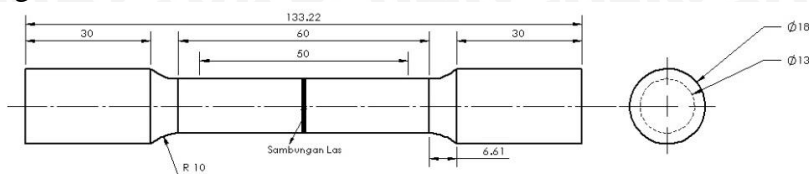
9. Mesin dimatikan
10. Pemberian gaya tekan tambahan sebesar 17,5 kN
11. Pelepasan benda kerja dari *chuck*
12. Pengecekan hasil pengelasan gesek
13. Pengulangan proses pengelasan gesek dengan variasi panjang *burn-off length* pada tiap-tiap variasi tinggi kerucut

Prosedur penelitian total pemendekan diawali dengan melakukan pengukuran panjang spesimen sebelum dan sesudah pengelasan menggunakan jangka sorong. Lalu dilakukan perhitungan selisih antara panjang awal dan panjang akhir.

Prosedur penelitian suhu pengelasan dilakukan dengan menggunakan *thermogun* pada jarak yang tetap. Karena pengukuran hanya dilakukan di permukaan maka data yang didapat berupa suhu *flash*. Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan suhu *flash* tertinggi saat proses pengelasan gesek.

Prosedur penelitian untuk pengujian tarik adalah sebagai berikut :

1. Pembuatan spesimen uji tarik sesuai standar AWS
2. Pemasangan spesimen uji tarik pada cekam mesin uji tarik
3. Pelaksanaan pengujian tarik dengan beban awal 0 kgf dan terus meningkat hingga spesimen yang diuji putus pada beban maksimum
4. Pencatatan data-data yang didapat dari pengujian tarik
5. Pelepasan spesimen uji tarik dari cekam mesin uji tarik
6. Pengolahan data yang didapat hingga mendapatkan nilai kekuatannya Standar yang digunakan pada pengujian tarik ini adalah AWS B4.0.2007 [5]. Di bawah ini adalah dimensi spesimen uji tarik yang digunakan :



Satuan : mm

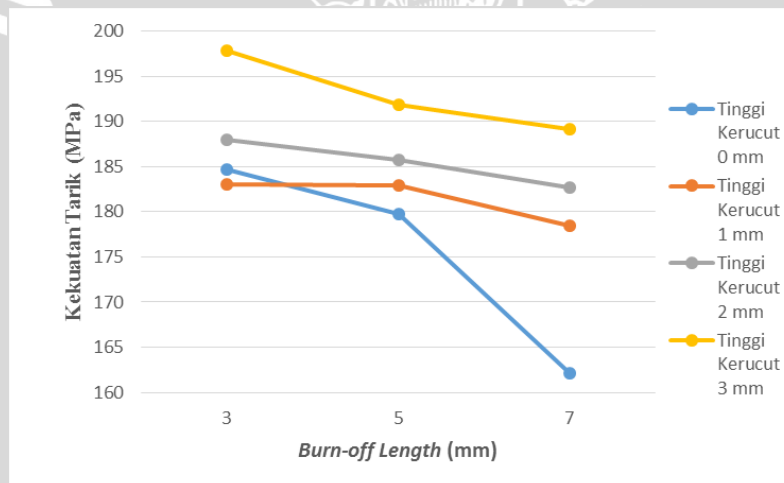
Gambar 3 Dimensi spesimen uji tarik

HASIL DAN PEMBAHASAN

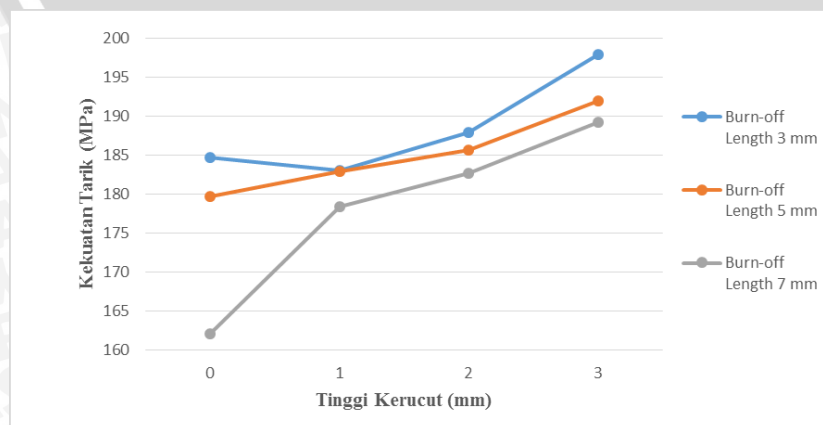
Hubungan Antara *Burn-off Length* dan Tinggi Kerucut Satu Sisi Terhadap Kekuatan Tarik Sambungan Pengelasan Gesek

Gambar 4 dan 5 adalah grafik hubungan antara *burn-off length* dan tinggi kerucut satu sisi terhadap kekuatan tarik hasil sambungan las gesek. Dari dua grafik tersebut dapat diketahui bahwa variasi *burn-off length* dan tinggi kerucut satu sisi yang digunakan mempengaruhi kekuatan tarik yang dihasilkan. Dapat dilihat, kekuatan tarik terendah dihasilkan pada variasi tinggi kerucut 0 mm *burn-off length* 7 mm yaitu sebesar 162,17 MPa dan kekuatan tarik tertinggi dihasilkan pada variasi tinggi kerucut 3 mm *burn-off length* 3 mm yaitu sebesar 197,89 MPa.

Dari data yang telah diperoleh, dapat disimpulkan bahwa semakin kecil *burn-off length* yang diberikan pada tinggi kerucut yang semakin besar maka kekuatan tarik yang dihasilkan akan semakin tinggi. Hal ini dikarenakan bila *burn-off length* yang diberikan kecil maka sebagian logam yang bergesekan akan semakin sedikit sehingga panas yang terjadi semakin rendah. Sedangkan bila tinggi kerucut yang digunakan semakin besar maka luas bidang kontak gesek yang terjadi juga semakin kecil, sehingga panas yang timbul juga kecil. Akibat panas yang timbul semakin kecil akan membuat bagian logam yang terpengaruhi panas semakin sedikit, sehingga kekuatan tarik yang dihasilkan akan semakin tinggi.



Gambar 4 Grafik Hubungan Antara *Burn-off Length* Terhadap Kekuatan Tarik Hasil Sambungan Las Gesek

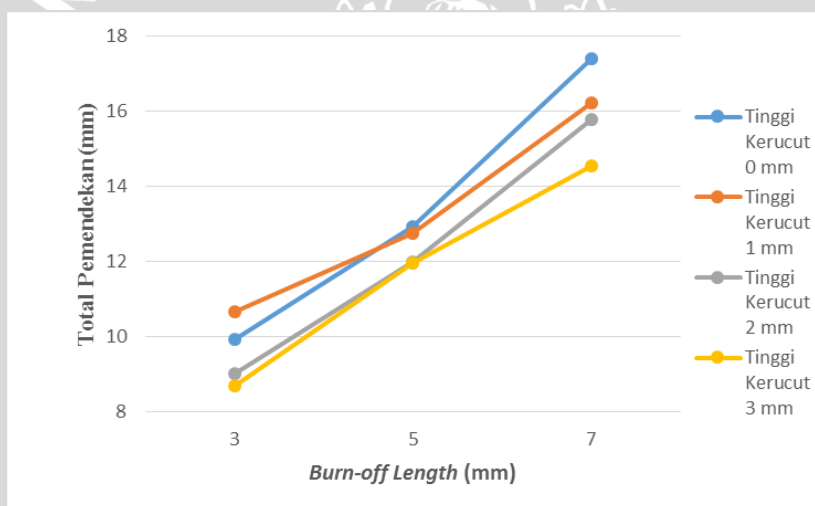


Gambar 5 Grafik Hubungan Antara Tinggi Kerucut Satu Sisi Terhadap Kekuatan Tarik Hasil Sambungan Las Gesek

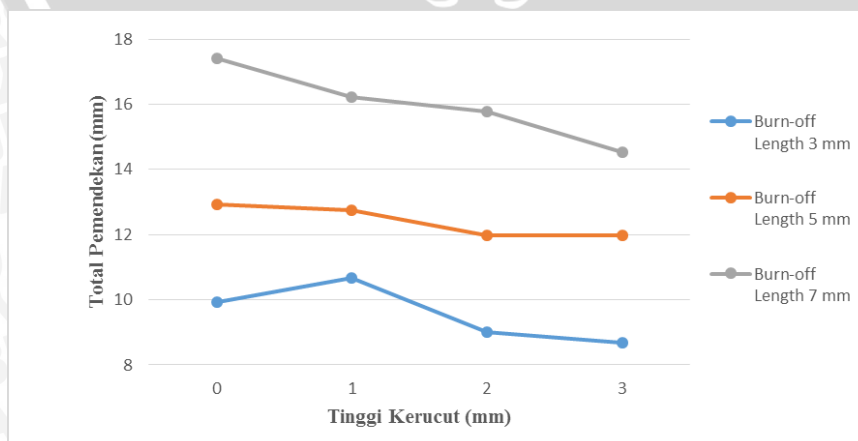
Hubungan Antara *Burn-off Length* dan Tinggi Kerucut Satu Sisi Terhadap Total Pemendekan Sambungan Pengelasan Gesek

Gambar 6 dan 7 adalah grafik hubungan antara *burn-off length* dan tinggi kerucut satu sisi terhadap total pemendekan hasil sambungan las gesek. Dari dua grafik tersebut dapat diketahui bahwa variasi *burn-off length* dan tinggi kerucut satu sisi yang digunakan mempengaruhi total pemendekan yang dihasilkan. Dapat dilihat, total pemendekan terendah dihasilkan pada variasi tinggi kerucut 3 mm *burn-off length* 3 mm yaitu sebesar 8,68 mm dan total pemendekan tertinggi dihasilkan pada variasi tinggi kerucut 0 mm *burn-off length* 7 mm yaitu sebesar 17,4 mm.

Dari data yang telah diperoleh, dapat disimpulkan bahwa semakin besar *burn-off length* yang diberikan pada tinggi kerucut yang semakin kecil maka total pemendekan yang dihasilkan akan semakin tinggi. Hal ini dikarenakan semakin besar *burn-off length* akan membuat bagian logam yang melunak dan membentuk *flash* akan semakin banyak, sedangkan dengan tinggi kerucut yang kecil membuat panas yang timbul semakin besar dan membuat bagian logam yang bergesekan mejadi lebih mudah melunak. Akibat semakin banyak bagian logam yang melunak dan membentuk *flash* maka panjang akhir sambungan las gesek semakin kecil dan membuat selisih panjang awal dan panjang akhir spesimen semakin besar.



Gambar 6 Grafik Hubungan Antara *Burn-off Length* Terhadap Total Pemendekan Hasil Sambungan Las Gesek



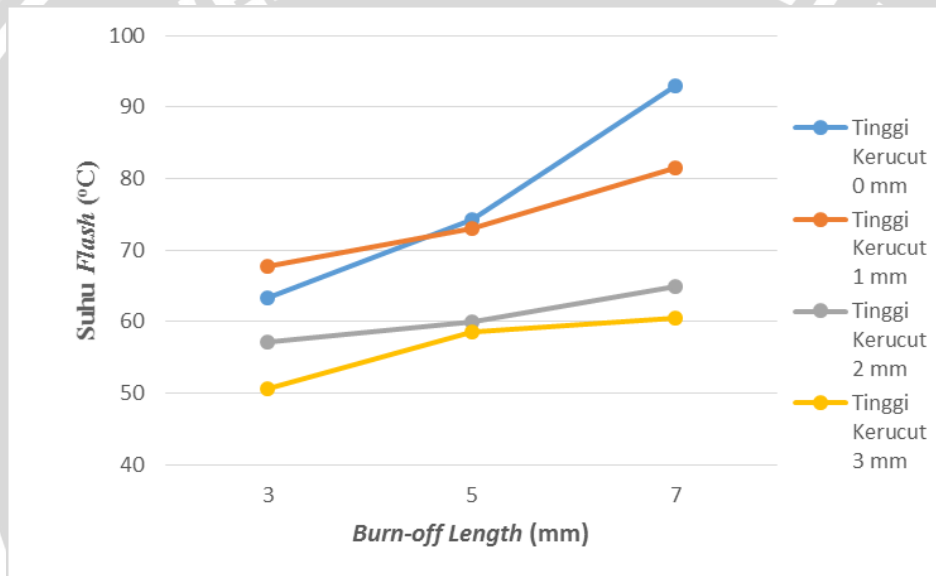
Gambar 7 Grafik Hubungan Antara Tinggi Kerucut Satu Sisi Terhadap Total Pemendekan Hasil Sambungan Las Gesek

Hubungan Antara *Burn-off Length* dan Tinggi Kerucut Satu Sisi Terhadap Suhu Pengelasan Proses Pengelasan Gesek

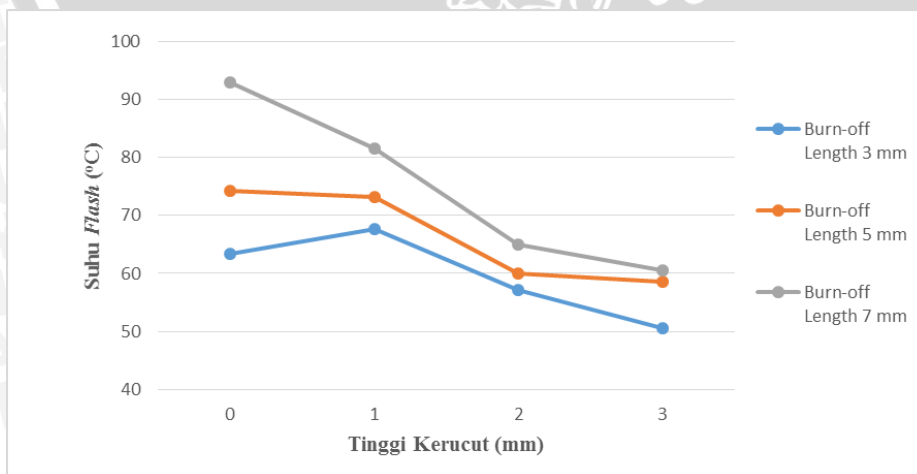
Gambar 8 dan 9 adalah grafik hubungan antara *burn-off length* dan tinggi kerucut satu sisi terhadap suhu *flash* proses pengelasan gesek. Dari dua grafik di atas dapat diketahui bahwa variasi *burn-off length* dan tinggi kerucut satu sisi yang digunakan mempengaruhi suhu *flash* yang dihasilkan. Dapat dilihat, suhu *flash* terendah dihasilkan pada variasi tinggi kerucut 3 mm *burn-off length* 3 mm yaitu sebesar 50,56°C dan suhu *flash* tertinggi dihasilkan pada variasi tinggi kerucut 0

mm *burn-off length* 7 mm yaitu sebesar 92,9°C.

Dari data yang telah diperoleh, dapat disimpulkan bahwa semakin besar *burn-off length* yang diberikan pada tinggi kerucut yang semakin kecil maka suhu *flash* yang dihasilkan akan semakin tinggi. Hal ini dikarenakan semakin besar *burn-off length* akan semakin banyak bagian logam yang bergesekan, sedangkan dengan tinggi kerucut yang kecil luas bidang kontak gesek semakin besar. Akibat semakin besar gesekan yang terjadi, panas yang timbul karena gesekan semakin besar dan membuat suhu *flash* yang terjadi semakin tinggi.



Gambar 8 Grafik Hubungan Antara *Burn-off Length* Terhadap Suhu *Flash* Proses Pengelasan Gesek



Gambar 9 Grafik Hubungan Antara Tinggi Kerucut Satu Sisi Terhadap Suhu *Flash* Proses Pengelasan Gesek

Analisis Mikrostruktur Pada Nilai Kekuatan Tarik Tertinggi dan Terendah

Pada analisis mikrostruktur ini dilakukan pada spesimen yang menghasilkan kekuatan tarik tertinggi dan kekuatan tarik terendah. Spesimen dengan nilai kekuatan tarik tertinggi pada variasi tinggi kerucut 3 mm dan *burn-off length* 3 mm, sedangkan spesimen dengan nilai kekuatan tarik terendah pada variasi tinggi kerucut 0 mm dan *burn-off length* 7 mm. Foto mikro dilakukan pada spesimen aluminium A6061 di daerah sambungan las dengan perbesaran optik sebesar 100x. Hasil foto mikro dapat dilihat pada gambar 10 dan gambar 11.

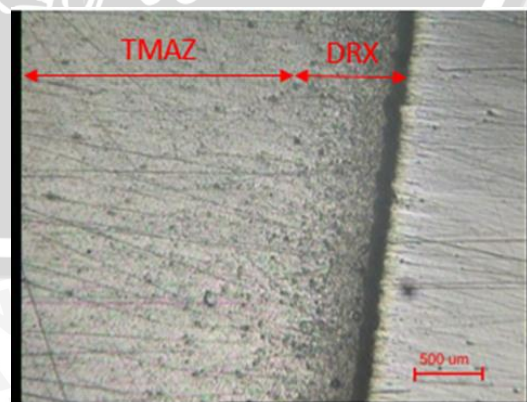
DRX (*Dynamically Recrystallized Zone*) adalah zona yang terbentuk karena deformasi plastis akibat suhu yang tinggi, zona ini memiliki butiran yang halus. Lebar ukuran DRX dipengaruhi oleh dua faktor, yaitu panas yang terjadi selama pengelasan dan tekanan yang diberikan. Karena pada penelitian ini tekanan yang diberikan sama untuk setiap variasi yaitu *friction pressure* sebesar 39,63 MPa dan *upset pressure* sebesar 99,08 MPa, maka yang mempengaruhi lebar DRX adalah panas yang timbul (*heat input*) tiap spesimen.

Dapat dilihat pada gambar 10, akibat panas yang timbul (*heat input*) kecil, hasil foto mikro menunjukkan struktur butir yang lebih kecil, halus dan merata, selain itu daerah DRX (*Dynamically Recrystallized Zone*) yang terbentuk berukuran sempit. Akibat ukuran struktur mikro yang kecil maka nilai kekuatan tarik yang dihasilkan tinggi. Sedangkan pada gambar 11, hasil foto mikro menunjukkan ukuran struktur butir yang terbentuk lebih besar dan daerah DRX (*Dynamically Recrystallized Zone*) yang terbentuk lebih lebar. Hal ini dikarenakan *heat input* yang terjadi pada spesimen ini lebih tinggi. Akibat ukuran struktur mikro yang besar maka nilai kekuatan tarik yang dihasilkan rendah.

Semakin lebar daerah DRX, menunjukkan bahwa semakin besar panas yang timbul (*heat input*) yang mempengaruhi daerah las tersebut, sehingga daerah HAZ (*Heat Affected Zone*) juga semakin lebar. Semakin lebar HAZ menunjukkan semakin lebar daerah yang mengalami perubahan struktur mikro. Akibat semakin lebar daerah yang mengalami perubahan struktur mikro maka kekuatan tarik yang dihasilkan rendah.



Gambar 10 Hasil foto mikro pada spesimen dengan kekuatan tarik tertinggi



Gambar 11 Hasil foto mikro pada spesimen dengan kekuatan tarik terendah

KESIMPULAN

1. Variasi tinggi kerucut satu sisi dan *burn-off length* mempengaruhi nilai sifat tarik, total pemendekan dan suhu *flash* sambungan las gesek A6061-St41.
2. Kekuatan tarik terendah dihasilkan pada variasi tinggi kerucut 0 mm *burn-off length* 7 mm yaitu sebesar 162,17 MPa dan kekuatan tarik tertinggi dihasilkan pada variasi tinggi kerucut 3 mm *burn-off length* 3 mm yaitu sebesar 197,89 MPa.
3. Semakin kecil *burn-off length* yang diberikan pada tinggi kerucut yang semakin besar maka kekuatan tarik yang dihasilkan akan semakin tinggi. Hal ini dikarenakan gesekan yang terjadi semakin kecil dan membuat panas yang timbul menjadi kecil, sehingga bagian logam yang terpengaruhi panas sedikit.
4. Total pemendekan terendah dihasilkan pada variasi tinggi kerucut 3 mm *burn-off length* 3 mm yaitu sebesar 8,68 mm dan total pemendekan tertinggi dihasilkan pada variasi tinggi kerucut 0 mm *burn-off length* 7 mm yaitu sebesar 17,4 mm.
5. Semakin besar *burn-off length* yang diberikan pada tinggi kerucut yang semakin kecil maka total pemendekan yang dihasilkan akan semakin tinggi. Hal ini dikarenakan bagian logam yang melunak dan membentuk *flash* akan semakin banyak, sehingga panjang akhir sambungan las gesek semakin kecil dan membuat selisih antara panjang awal dan panjang akhir spesimen semakin besar.
6. Suhu *flash* terendah dihasilkan pada variasi tinggi kerucut 3 mm *burn-off length* 3 mm yaitu sebesar 50,56°C dan suhu *flash* tertinggi dihasilkan pada variasi tinggi kerucut 0 mm *burn-off length* 7 mm yaitu sebesar 92,9°C.
7. Semakin besar *burn-off length* yang diberikan pada tinggi kerucut yang semakin kecil maka suhu *flash* yang dihasilkan akan semakin tinggi. Hal ini dikarenakan semakin besar gesekan yang terjadi, panas yang timbul karena gesekan semakin besar dan membuat suhu pengelasan yang terjadi semakin tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Yilmaz, M., Col M., Acet M. 2003. *Interface Properties of Aluminium/Steel Friction-welded Components*. Material Characterization 49 (2003) 421-429.
- [2] Kalpakjian, Serope. 2008. *Manufacturing Processes for Engineering Materials*. New Jersey: Prentice Hall.
- [3] Taban, E., Gould, J. E., Lippold, J. C. 2010. *Dissimilar Friction Welding of 6061-T6 Aluminium and AISI 1018 steel: Properties and Microstructure Characterization*. Materials and Design 31 (2010) 2305–2311.
- [4] Irawan, Y. S., Amirullah, M., Gumilang, G. B. D., Oerbandono, T., Suprpto, W. 2016. *Torsion Strength of Continuous Drive Friction Weld Joint of Round Bar Aluminum A6061 Affected by Single Cone Geometry of Friction Area*. AIP Conference Proceedings.
- [5] American Welding Society. 2007. *Standard Methods for Mechanical Testing of Welds*. B4.0.2007.