

EFFECT OF DOUBLE CHAMFER ON TENSILE STRENGTH AND MICROSTRUCTURE OF AISI 304 FRICTION WELDING JOINTS

(Pengaruh *Double Chamfer* terhadap Kekuatan Tarik dan Struktur Mikro Sambungan Las Gesek AISI 304)

Bagus Samodra Penggalih^{1*}, Kardiman², Viktor Naubnome³

ABSTRACT

Friction welding is a metal joining process without melting (solid state process), in which the welding process occurs as a result of combining the rotation rate of one of the workpieces with the compressive force exerted by the rotating workpiece. The friction caused by the meeting of the two workpieces will produce heat which can melt the two ends of the workpiece which are rubbing together so that they are able to melt and finally the joining process occurs. In this study, Continuous Drive Friction Welding (CDFW) was carried out on AISI 304 metal materials. This study aims to determine the effect of double chamfers on the tensile strength and microstructure of AISI 304 friction welding joints. The chamfer angle variations used are 15°, 30°, and 45°. The results of the tensile test show that chamfering can affect the results of the tensile strength. The highest tensile strength value was obtained at a chamfer angle of 30°, namely 454.9Mpa. Meanwhile, the lowest tensile strength value was obtained at the 45° chamfer angle variation, which was 193.5 MPa. The results of the microstructure test show that the chamfer angle has an effect on changes in the microstructure. At all variations of the chamfer angle, the microstructure of the weld area has perlite and ferrite fine grained phases, the HAZ region has perlite and ferrite phases larger and finer grained. Also found in all variations there is porosity. The greatest porosity is found at a chamfer angle of 45°.

Keywords: *Friction Welding, Tensile Strength, Microstructure, Chamfer Angle, AISI 304*

PENDAHULUAN

Teknik penyambungan/pengelasan baja tahan karat austenitik, dengan memperhatikan sifat mekanis dan ketahanan korosinya, harus mempertimbangkan aspek metalurgi, geometri dan pengerjaan akhir dari permukaannya. Pada proses pengelasan konvensional, seperti: las

^{1,2,3} Universitas Singaperbangsa Karawang, Karawang, Indonesia

*Corresponding author:
bagussamodra8@gmail.com

TIG, laser atau pengelasan electron beam, menimbulkan peluang terbentuknya propagasi fasa yang tidak diinginkan dan beberapa perubahan metalurgi yang merugikan di daerah pengelasan, seperti: fasa ferit- δ , korosi batas butir, korosi regangan dan fasa- σ . Permasalahan pada proses pengelasan gesek konvensional tersebut dapat dieliminasi dengan penggunaan solid state welding process, dimana pengelasan gesek merupakan salah satunya, karena proses pengelasan ini singkat dan memiliki kecepatan pendinginan tinggi (Nugroho, 2014).

Pada proses pengelasan gesek, panas diperoleh dengan mengkonversikan energi mekanis menjadi energi termal pada antar muka komponen yang bergesekan, kemudian tekanan tempa diberikan untuk menyambung komponen tersebut. Teknik pengelasan ini dapat digunakan untuk menyambung logam yang sangat berbeda sifat thermal dan mekanisnya, juga sering diaplikasikan pada sambungan antar logam yang tidak dapat dilakukan oleh teknik pengelasan logam lainnya yang menghasilkan fase getas. Keunggulan lain teknik pengelasan ini adalah menghemat bahan karena tidak membutuhkan logam pengisi, fluks dan gas pelindung, waktu pengelasan pendek dan temperatur operasi di bawah titik lebur logam (Lestaringrum, 2018).

Las gesek lebih baik jika dibandingkan dengan las konvensional dalam hal porositas, karena las gesek (*friction welding*) menghasilkan hasil lasan yang hampir tidak mengandung porositas atau hanya mengandung sedikit porositas mikro (Jiang, 2004).

Pengelasan gesek mempunyai parameter yang dapat menentukan kualitas hasil lasan. Diantara parameter-parameter tersebut adalah bentuk permukaan dan tekanan gesek. Sudut *chamfer* merupakan sudut yang digunakan untuk menghilangkan sudut siku-siku pada benda kerja. Salah satu inovasi yang mulai dikembangkan pada proses *friction welding* saat ini adalah pemberian sudut *chamfer* pada permukaan benda kerja untuk meningkatkan temperatur pada saat melakukan pengelasan, temperatur yang semakin tinggi akan meningkatkan sifat mekanik hasil *friction welding* (Wahyudi, 2016).

Material mempunyai tiga zona yaitu *undeformed zone* (UZ) yang mana kekerasannya hampir sama dengan logam induk, *plasticized zone* (PZ), dan *partly deforming zone* (PDZ). Kekerasan tertinggi ada pada PZ dari pada PDZ dan UZ. Kekerasan pada PZ meningkat disebabkan oleh ukuran butir yang halus pada zona tersebut (Sathiya, 2007)

Hakim (2017) meneliti efek tekanan gesek pada penyambungan bahan SS 304 dengan metode *friction welding*. Kekuatan tarik variasi tekanan gesek 120 MPa memiliki kekuatan

tertinggi sebesar 685 MPa, dan kekuatan tarik terendah pada variasi tekanan gesek 20 MPa sebesar 402 MPa. Efek sudut *chamfer Male-Female* dan waktu gesek pada penyambungan bahan aluminium 6061 dengan metode pengelasan gesek. Variasi sudut *chamfer* 30° dengan lama waktu gesek 2 menit menghasilkan kekuatan tarik terbesar yakni senilai 33,92 kg/m². Semakin lama waktu gesek dan semakin kecil sudut dapat mempengaruhi nilai kekuatan tarik.

Faruq (2020) mempelajari pengaruh sudut *chamfer Male-Female* pada proses *friction welding* baja karbon S45C. Kekuatan tarik terbesar didapat dari variasi sudut *chamfer* 30° dengan tekanan gesek 2,75 MPa yakni sebesar 690,56 MPa.

Santoso dkk. (2012) meneliti pengaruh sudut *chamfer* yang digunakan pada kedua permukaan kontak benda uji las gesek. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hasil kekuatan tarik akan meningkat seiring dengan semakin kecilnya sudut *chamfer* dan semakin besar gaya tekan akhir. Kekuatan tarik tertinggi terdapat pada sudut 15 dan gaya tekan akhir 213 kgf dengan kekuatan tarik sebesar 140,45 N/mm².

Berdasarkan uraian tersebut, penulis tertarik untuk melakukan penelitian tentang pengelasan gesek (*friction welding*) pada AISI 304, konsep pemikiran penelitian pengelasan gesek ini adalah penggabungan dua logam melalui gesekan mekanis. Proses pengelasan terjadi pada saat benda kerja yang tidak berputar dikontakkan dengan benda kerja berputar di bawah tekanan konstan, sampai kedua permukaan mencapai suhu pengelasan dan kemudian putaran dihentikan. Penelitian ini akan mengamati pengaruh sudut *chamfer* pada pengelasan gesek pada AISI 304 terhadap kualitas sambungan las, yang meliputi kekuatan tarik, dan struktur mikro.

METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *experimental*. *Experimental* adalah suatu observasi dibawah kondisi buatan, dimana kondisi tersebut sengaja dibuat dan diatur oleh peneliti. Dengan demikian penelitian *experimental* ialah penelitian yang dilakukan dengan memanipulasi terhadap objek penelitian serta adanya *control*.

Penelitian dilakukan pada tanggal 1 Oktober 2022 – 25 Januari 2023. Penelitian ini meliputi dua kegiatan utama yaitu pengelasan dan pengujian. Untuk pengelasan dilakukan di Laboratorium Proses Produksi, Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang. Untuk pengujian sifat mekanik dan pengamatan mikro dilakukan di Laboratorium Pengujian Bahan, Jurusan Teknik Mesin Politeknik Bandung.

Pada penelitian ini terdapat tiga variable yaitu variable bebas, variable terikat, dan variabel terkontrol.

a. Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variable yang dapat dirubah-rubah sehingga variable ini dapat mempengaruhi hasilnya. Nilai dari variabel ini ditentukan oleh peneliti agar memperoleh hubungan antara variable bebas dan variable terikatnya. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah sudut chamfer dengan variasi sudut 15°, 30°, 45°.

b. Variabel Terikat

Variable terikat adalah variabel yang besarnya dipengaruhi oleh besarnya variabel bebas. Adapun variabel terikat dari penelitian ini adalah kekuatan tarik dan struktur mikro.

c. Variabel Terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang besarnya harus dijaga konstan supaya tidak mempengaruhi hasil dari variabel terikat. Variabel terkontrol pada penelitian ini yakni:

- Tekanan Gesek 2.5 MPa
- Tekanan Tempa 4 Mpa
- Kecepatan Putar 1600 RPM
- Waktu Pengelasan 45 s

Adapun peralatan yang digunakan dalam pengujian ini sebagai berikut:

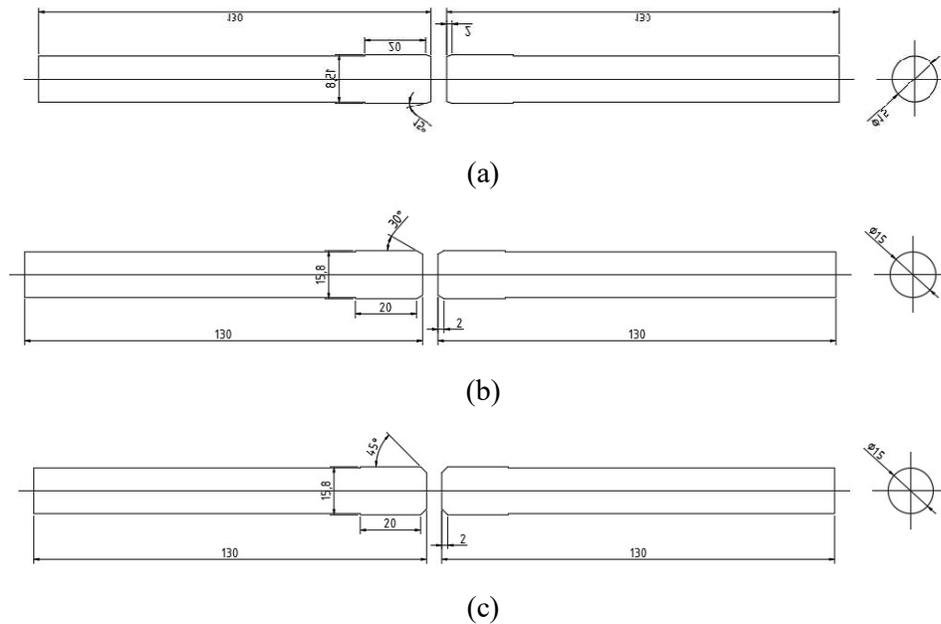
- a. Stopwatch
- b. Jangka sorong
- c. *Power hacksaw*
- d. Mesin bubut
- e. Mesin wirecut
- f. Kamera digital
- g. Mesin uji tarik
- h. Mikroskop

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah AISI 304 dengan komposisi unsur paduan seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Kandungan Unsur AISI 304 (Khan (2011))

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ti	Fe
0,07%	0,3%	1,38%	0,4%	0,28%	18,4%	8,1%	71,07%

Diameter benda kerja yang digunakan pada penelitian ini dijelaskan pada gambar 1.



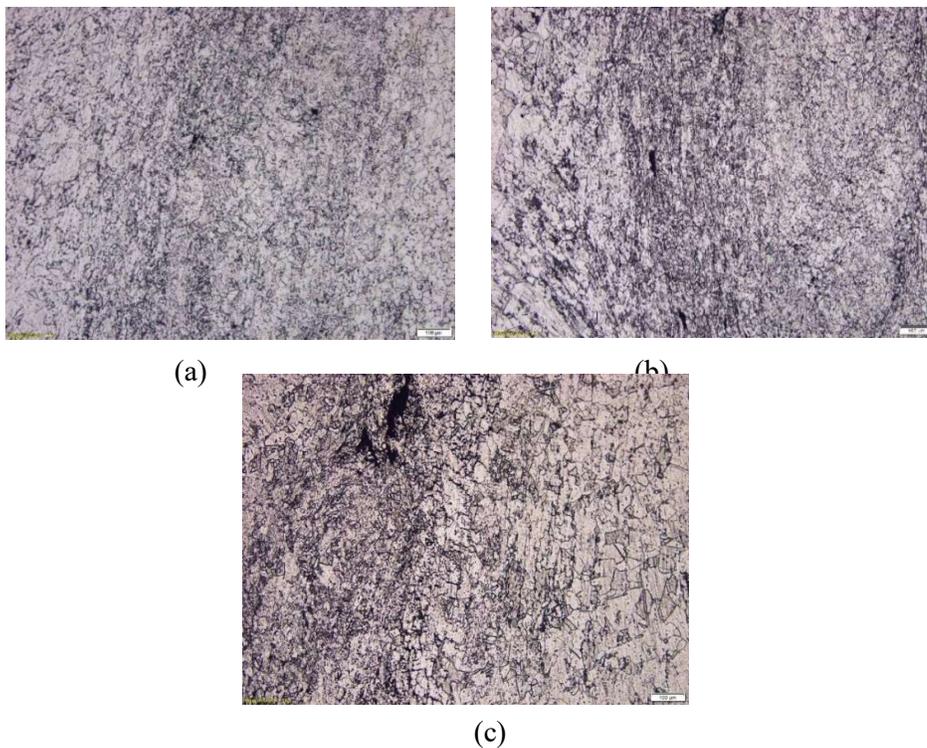
Gambar 1. Gambar spesimen satuan mm dengan (a) sudut chamfer 15° (b) sudut chamfer 30° (c) sudut chamfer 45°

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Hasil dan pembahasan bab ini sesuai dengan hasil penelitian pengaruh variasi sudut chamfer pada friction welding yang kemudian dilakukan pengamatan struktur mikro dan uji tarik. Proses friction welding dilakukan pada kecepatan putaran gesek 1600 rpm, tekanan gesek 2,5 MPa, tekanan tempa 4 MPa, dan waktu pengelasan 45 s dan variasi sudut chamfer (15°, 30°, dan 45°). Jumlah total benda uji untuk pengujian struktur mikro dan mengujian tarik masing masing sebanyak 3 spesimen. Hasil pengujian akan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik.

Pada pengamatan kali ini adalah uji struktur mikro yaitu di bagian zona las dan zona HAZ pada spesimen 15° , 30° , 45° . Pengujian ini dilakukan karena untuk melihat fase apa yang terjadi setelah dilakukannya pengelasan. Dapat kita amati pada hasil perbesaran 100x. Maka dapat dilihat fase struktur Perlite dan Ferit yang terkandung dari hasil pengelasan gesek, pada foto mikro terlihat struktur yang berwarna hitam yaitu Perlite dan yang berwarna putih yaitu Ferit. Berikut dibawah ini adalah hasil pengamatan struktur mikro.

1. Struktur mikro hasil pengelasan pada daerah *weld line*

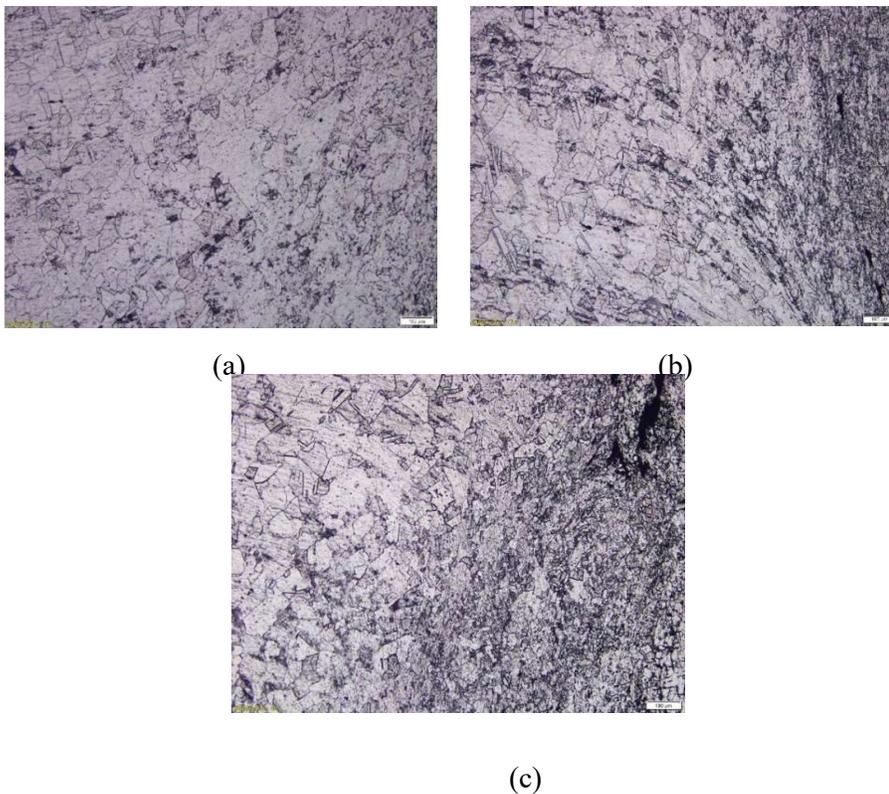


Gambar 2. Struktur Mikro Daerah Weld Line (a) 15° (b) 30° (c) 45°

Pada gambar 2 dapat dilihat pada gambar dari ketiga variasi memiliki struktur yang terdiri dari fasa perlite dan fasa ferit pada daerah sambungan las. Dari ketiga variasi memiliki perbedaan jumlah struktur fasa ferlit dan fasa perlite. Fasa perlite terbanyak terdapat pada variasi 30° , kemudian 15° dan yang terendah pada variasi 45° , sedangkan fasa ferit memiliki jumlah struktur yang lebih banyak daripada fasa perlite disemua variasi sambungan las. Pada ketiga variasi struktur mikro sambungan las juga didapat porositas.

Fasa ferit yang lebih dominan diakibatkan karena kurangnya temperatur pada saat pengelasan yang mengakibatkan cepatnya waktu pendinginan, sehingga atom karbon akan berdifusi lebih cepat dan dapat menempuh jarak yang lebih dekat sehingga fasa perlit akan terlihat lebih kecil. Hal itu dapat dibuktikan dari penelitian yang dilakukan oleh Andre Setyawan Al Faruq (2020).

2. Struktur mikro hasil pengelasan pada daerah HAZ



Gambar 3. Struktur Mikro Daerah HAZ Stainless Steel (a) 15° (b) 30° (c) 45°

Pada gambar 3 dapat dilihat pada gambar daerah HAZ ketiga variasi mengalami perubahan pada struktur fasa. Terdapat fasa ferit dan fasa perlit yang lebih halus dan luas. Karena pada daerah HAZ mengalami proses pemanasan dengan temperatur yang lebih rendah, dan juga laju pendinginan yang lebih lambat, jika dibandingkan pada daerah bats sambungan las.

Rendahnya temperatur dari panas yang dibangkitkan, dan laju pendinginan yang terjadi, menyebabkan ukuran butiran pada daerah HAZ lebih halus dan luas. Perubahan ukuran butiran ini, menyebabkan perubahan pada sifat mekanis dari logam induk pada daerah HAZ dan daerah disekitar batas sambungan. Hal itu dapat dibuktikan dari penelitian yang dilakukan oleh Jack Carol Adolf Pah dkk (2018).

Setelah dilakukannya pengelasan gesek material mengalami perubahan struktur mikro karena pada proses friction welding mengalami perlakuan panas akibat gesekan lalu pemberian tekanan tempa. Seperti yang dijelaskan oleh Nur Husodo dkk pada penelitiannya (2013).

Pada pengujian ditemukan struktur yang terbentuk pada spesimen adalah fasa ferit dan perlit yaitu semakin sedikit jumlah presentase butiran perlit, semakin menurun pula kekuatan dari material tersebut. Karena sifat butiran perlit yang lebih kuat, keras dan sedikit getas. Sedangkan jumlah presentase struktur ferit yang ditampilkan semakin banyak dengan sifatnya lunak dan ulet yang membuat kekuatan material kurang kuat dari pada yang lebih banyak butiran perlitnya.

3. Hasil Uji Tarik

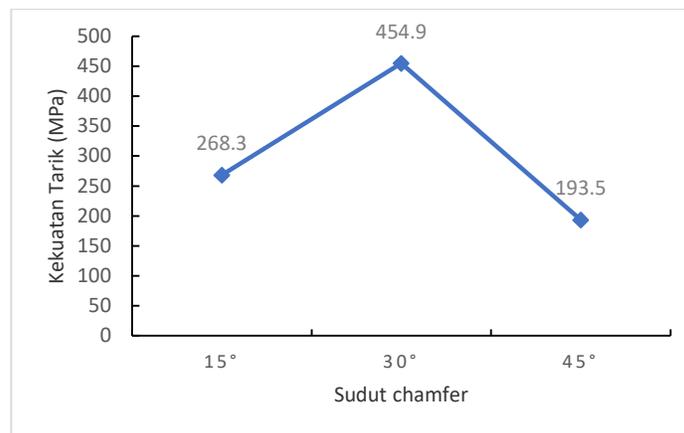
Setelah dilakukan pengelasan maka diperoleh sampel dengan 3 variasi yang berbeda yaitu dengan variasi sudut chamfer (15° , 30° , dan 45°). Dengan tujuan untuk membandingkan pengaruh sudut chamfer yang memiliki nilai kekuatan tarik yang lebih baik. Hasil pengujian dan perhitungan akan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik. Berikut adalah tabel hasil uji tarik.

Tabel 2. Hasil pengujian tarik

Variasi sudut chamfer	Max load (kg)	Tensile strength (MPa)	Yield strength (Mpa)	Elongation (%)
15°	1740	268.3	182.4	0.2
30°	2950	454.9	309.3	1.3
45°	1255	193.5	118.2	1.1

Pada tabel 2 dapat dilihat bahwa variasi sudut chamfer dapat mempengaruhi hasil uji tarik. Pengujian tarik ini dilakukan sampai spesimen mengalami patah yang dapat disimpulkan bahwa sudut chamfer 30° memiliki nilai kekuatan tarik terbesar yaitu 454.9 MPa.

Berikut ini merupakan grafik hubungan antara kekuatan tarik dan variasi sudut chamfer pada proses pengelasan gesek. Berdasarkan gambar 4 menunjukkan grafik hubungan antara kekuatan tarik dengan sudut chamfer. Berdasarkan grafik dapat dilihat bahwa nilai kekuatan tarik terbesar yaitu pada penggunaan sudut chamfer 30° dengan nilai 309.3 MPa, kemudian di ikuti dengan sudut chamfer 15°, dan yang paling kecil yaitu pada sudut chamfer 45° dengan masing-masing nilai kekuatan tarik sebesar 182.4 Mpa, dan 118.2 Mpa. Dapat disimpulkan bahwa dengan penggunaan variasi sudut chamfer berpengaruh dalam mendapatkan kekuatan tarik yang lebih besar.



Gambar 4. Grafik hubungan antara kekuatan tarik dengan sudut chamfer

Pada sudut chamfer 30° memberikan kekuatan tarik yang maksimal, diduga disebabkan oleh hasil pengelasan yang baik ditunjukkan oleh luas kontak yang sempit akibat sudut chamfer yang kecil, sehingga dihasilkan tekanan yang lebih besar diikuti oleh panas yang cukup besar dan mampu melelehkan logam yang mengisi kolam las dengan lebih merata. Dengan kondisi pengelasan tersebut maka porositas dan luas daerah HAZ (*Heat Affected Zone*) menjadi relatif lebih kecil.

KESIMPULAN

Sudut *chamfer* berpengaruh terhadap kekuatan tarik hasil sambungan las gesek pada AISI 304. Hasil pengujian tarik tertinggi diperoleh dari variasi 30° dengan nilai sebesar 454.9 MPa. Sementara hasil pengujian tarik terendah diperoleh diperoleh dari variasi sudut *chamfer* 45° sebesar 193.5 Mpa. Hasil pengujian struktur mikro menunjukkan bahwa sudut *chamfer* berpengaruh pada perubahan struktur mikro pada daerah Stainless Steel 304. Pada semua variasi sudut *chamfer*, struktur mikro daerah las memiliki fasa perlit dan ferlit berbutir kecil, daerah HAZ berfasa perlit dan ferlit berbutir lebih besar. Struktur mikro daerah las dan daerah HAZ memiliki fasa ferlit yang lebih banyak. Didapat juga pada semua variasi terdapat porositas. Porositas terbesar terdapat pada sudut *chamfer* 45°. Disarankan untuk penelitian selanjutnya pada proses pengelasan, saat pemasangan benda kerja, posisikan sedemikian mungkin agar benda kerja yang akan disambung berada tepat dan sejajar, sehingga hasil pengelasan dapat sejajar.

DAFTAR PUSTAKA

- A. S. Al Faruq dan A. H. A. Rasyid. (2020). Pengaruh Sudut Chamfer Male – Female dan Tekanan Gesek Pada Proses Friction Welding Baja Karbon S45C Terhadap Kekuatan Tarik Dan Struktur Mikro. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin (JPTM) Universitas Negeri Surabaya*, 01(01), 0-216.
- A. U. Lestarinigrum. (2018). *Analisa Sensitisasi Pada Baja Tahan Karat AISI 304 Menggunakan Laku Panas Normalizing Dengan Variasi Temperatur*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.
- A. W. Nugroho, T. Suwanda, F. Irwanto. (2014). Sifat Mekanis dan Struktur Mikro Pengelasan Gesek Baja Tahan Karat Austenitik AISI 304. *Jurnal Ilmiah Semesta Teknika*, 17(1), 83-90.
- E. B. Santoso, Y. S. Irawan, E. Sutikno. (2012). Pengaruh Sudut Chamfer Dan Gaya Tekan Akhir Terhadap Kekuatan Tarik Dan Porositas. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 3(1), 293-298.
- I. Wahyudi. (2016). *Pengaruh Variasi Friction Time dan Sudut Chamfer Satu Sisi Terhadap Kekuatan Tarik Sambungan Las Gesek Al-Mg-Si dengan Gaya Tekan Akhir 1000 kgf*. Malang: Universitas Brawijaya.

- J. C. A. Pah, Y. S. Irawan, dan W. Suprpto. (2018). *Sambungan Paduan Aluminium Dan Baja Karbon Pada Pengelasan Gesek Continuous Drive*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Kasijanto, S. Wahjudi, dan Listiono. (2018). Pengaruh Konfigurasi Sudut Chamfer Male-Female dan Lama Gesek terhadap Karakteristik Hasil Pengelasan dan Kekuatan Tarik Paduan Aluminium 6061. *Jurnal Energi dan Teknologi Manufaktur (JETM)*, 01(02), 01-08.
- Khan. (2011). Experimental and Numerical Investigation on the Friction Welding Proces. *Jawaharlal Nehru Technological University*.
- L. Hakim. (2017). *Pengaruh Variasi Tekanan Gesek Terhadap Kekuatan Tarik Struktur Mikro Dan Kekerasan Sambungan Las Metode Continuous Drive Friction Welding Bahan Silinder Pejal Logam Stainless Steel 304*. Yogyakarta: Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- N. Husodo dkk. (2013). Penerapan Teknologi Las Gesek (Friction Welding) dalam Rangka Penyambungan Dua Buah Logam Baja Karbon St41 pada Produk Back Spring Pin. *Jurnal Energi Dan Manufaktur*, 6(1), 43-52.
- P. Sathiya. (2007). Effect of Friction Welding Parameters on Mechanical and Metallurgical Properties of Ferritic Stainless Steel. *International Journal of Advanced Manufacture*, 1076-1082.
- W. H. Jiang dan R. Kovacevic. (2004). Feasibility Study of Friction Stir Welding of 6061-T6 Aluminium Alloy with AISI 1018 Steel.