

Sifat Mekanis dan Struktur Mikro Pengelasan Gesek Baja Tahan Karat Austenitik AISI 304

(Mechanical Properties and Microstructure of AISI 304 Austenitic Stainless Steel Friction Welded Joint)

ARIS WIDYO NUGROHO, TOTOK SUWANDA, FEBRI IRWANTO

ABSTRACT

The aim of this study is to investigate experimentally the microstructural properties and welding strengths of the friction welded joints using austenitic stainless steel (AISI 304) base metal. The experiments were carried out using a beforehand designed and constructed experimental friction welding set-up. Firstly, the welding experiments were under different friction pressure (1,38-4,14 MPa) and upsetting pressure (6,90-8,27 MPa). Later, the strengths of the joints were examined by tension test and the results were compared with those of the base metals. Microstructures in the interfaces of the joints were also obtained and examined. The results show that porosities were observed in bondline zone for all specimens. As the friction pressure increased, the fully plastically deformed zone becomes increased. Tensile test results indicated that, generally the joint strength is increased with an increase of the friction pressure and the upsetting pressure. The friction welded joint strength were found to be lower than that of the base metal. The detailed fractographic observation confirmed that the brittle rupture occurred at the joint zone.

Keywords: friction welding, AISI 30, microstructure and mechanical properties

PENDAHULUAN

Baja tahan karat austenitik SS 304 merupakan salah satu jenis logam paduan Fe-Cr-Ni yang telah dipakai secara luas di dunia industri karena kekuatan mekanis dan ketahanan korosi yang tinggi. 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 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. 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. Penelitian tentang pengelasan gesek untuk mengetahui sifat mekanis dan mikrostruktur pada pengelasan gesek logam sejenis SS 304 telah dilakukan dalam jumlah yang masih sedikit (Sathiyadkk, 2003, Sahin, 2005, Sahin, 2007, Sidiq, 2013). Sathiyadkk, (2003) menggunakan mesin las gesek KUKA dengan tekanan gesek 1,5-2 MPa, waktu gesek 3-8 detik dan tekanan tempa sebesar 4-4,5 MPa pada putaran 1125 rpm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada sambungan las tidak teramati adanya porositas dan retak. Nilai kekuatan sambungan las hampir sama dengan kekuatan material dasar (580-610 MPa), namun

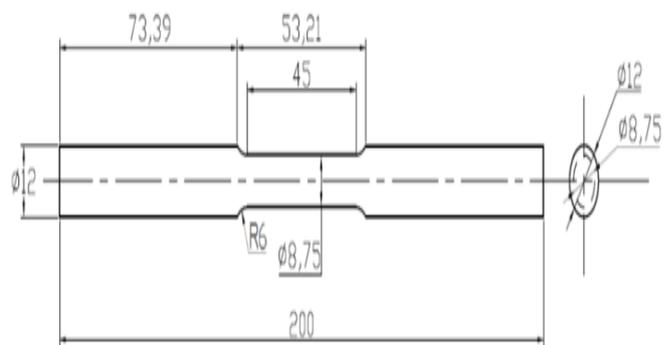
kekuatan sambungan menurun (528 MPa) seiring dengan kenaikan waktu gesek karena adanya pembesaran ukuran butir dan pelebaran daerah sambungan. Sebagian besar patahan terjadi di daerah lasan, sedangkan permukaan patahan menunjukkan patahan ulet tanpa adanya struktur *dimple*. Dengan mengaplikasikan nilai parameter yang lebih tinggi yaitu tekanan gesek, waktu gesek, tekanan tempa dan putaran masing-masing sebesar 60 MPa, 9 detik, 110 MPa, 1440 rpm, Sahin, (2005) & Sahin (2007) memperoleh nilai kekuatan sambungan lebih tinggi (795 MPa).

Tulisan ini membahas tentang studi ekperimental dari sifat metalurgi dan sifat mekanis, yang direpresentasikan oleh struktur mikro dan kekuatan tarik, dari pengelasan gesek baja tahan karat asutenitik AISI 304 yang dilakukan dengan parameter pengelasan tekanan gesek 1,38 – 4,14 MPa. dan tekanan tempa 6,90 – 8,27 MPa.

METODE PENELITIAN

Pengelasan gesek dilakukan dengan benda kerja pada dipasang pada cekam diam dan cekam putar. Mesin las gesek berputar dengan kecepatan 1000 rpm kemudian diberi tekanan gesek dengan bervariasi variasi 1,38 – 4,14 MPa, secara bersamaan proses perhitungan waktu dimulai. Waktu gesek diperoleh dengan indikasi telah terjadi deformasi atau terbentuknya flash pada daerah pengelasan, kemudian mesin dimatikan dan bersamaan dengan itu waktu dimatikan atau batas penentu akhir perhitungan waktu gesek pada saat mesin mati, kemudian setelah mesin berhenti secara langsung diberikan tekanan tempa dengan variasi 6,90 – 8,27 MPa. Spesimen hasil pengelasan gesek dibubut sesuai standar *ASTM A 370-07a* atau seperti tampak pada gambar 2. Pengujian tarik dilakukan dengan mesin uji tarik universal bermerek *SANS UTM* dengan

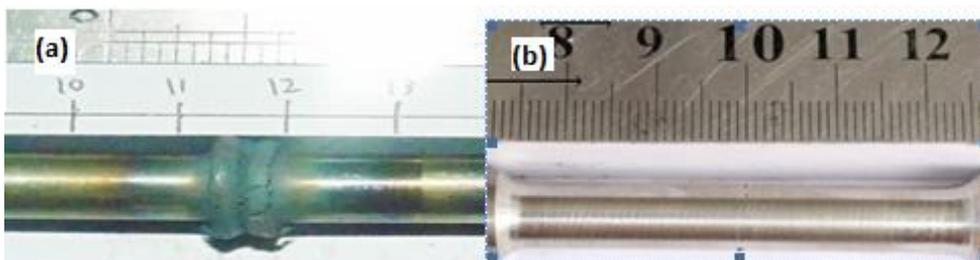
kecepatan penarikan 40 mm/menit. Pengamatan struktur mikro dan struktur makro pada daerah las dan patahan dilakukan dengan mikroskop optik. Bahan berupa silinder pejal baja tahan karat austenitik AISI 304 diameter 12 mm dengan panjang masing-masing 100 mm berjumlah 30 biji. Sebelum dilas permukaan penampang silinder atau permukaan yang akan di sambung dihaluskan dengan menggunakan amplas kode *P 105 CW* kemudian diamplas tahap ke dua dengan amplas kode *P 600 CW* bertujuan agar permukaan rata dan menghilangkan kotoran pada permukaan. Pengujian tarik dilakukan dengan mesin uji tarik universal bermerek *SANS UTM* dengan kecepatan penarikan 40 mm/menit.



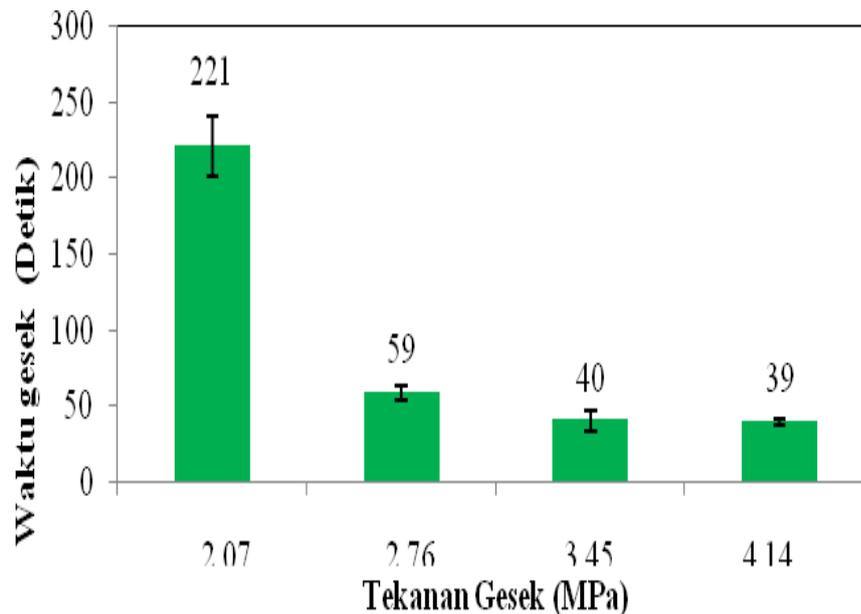
GAMBAR 1. Spesimen uji tarik standar *ASTM A 370-07a*, satuan (mm)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dua silinder pejal baja tahan karat austenitik AISI 304 berukuran 12 mm panjang 100 mm disambung dengan las gesek. Sambungan las gesek ditandai dengan adanya flash di bagian yang disambung (Gambar 2,a). Benda uji tarik dibuat dengan cara di *machining* menggunakan mesin bubut dengan ukuran sesuai setandar *ASTM A 370-07a* (Gambar 2.b)



GAMBAR2. (a). Hasil pengelasan gesek baja tahan karat austenitik AISI 304 (b) pembubutan spesimen uji tarik sesuai standar *ASTM A 370-07a*

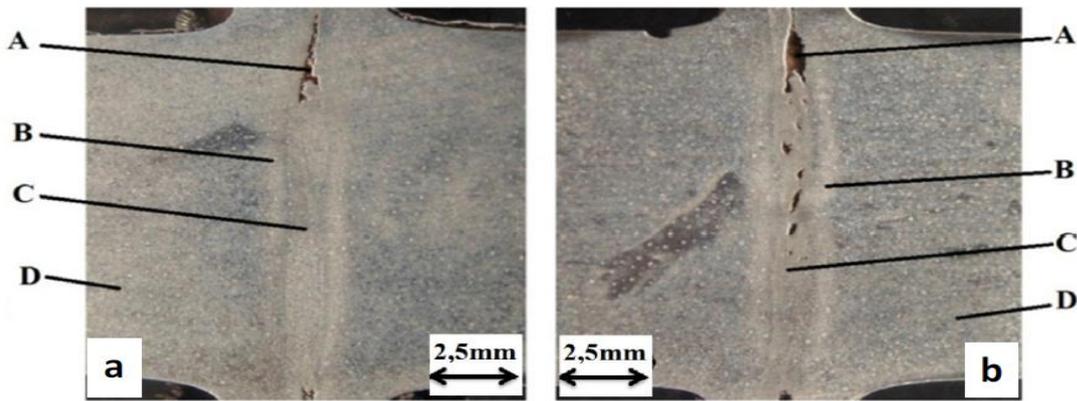


GAMBAR3. Hubungan antara variasi tekanan gesek dan waktu gesek rata-rata

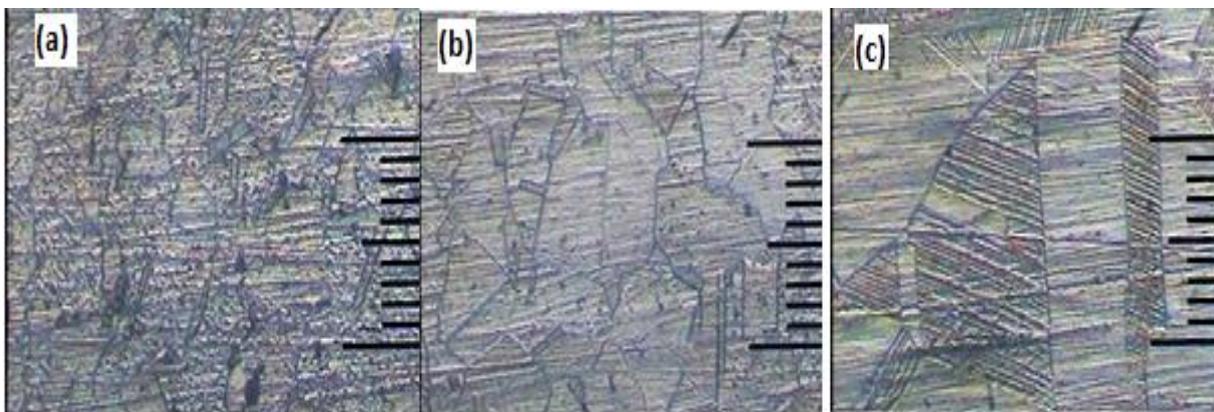
Struktur Mikro

Dari penyiapan benda uji diperoleh data tentang waktu gesek dimana waktu gesek didapatkan pada saat terjadi deformasi plastis dan pembentukan flash di daerah lasan. Gambar 3 menunjukkan bahwa variasi tekanan gesek berpengaruh terhadap waktu gesek material *stainless steel* 304. Dalam penelitian ini dilakukan 3 kali pengujian untuk setiap variasi tekanan gesek. Dipilih 5 variasi tekanan gesek yaitu : 1,38 MPa, 2,07MPa, 2,76MPa, 3,45MPa, dan 4,14MPa dengan kecepatan putar pada porosnya 1000 rpm, dan diperoleh waktu gesek rata-rata tercepat pada tekanan gesek 4,14MPa yaitu 39 detik dan waktu gesek rata-rata terlama pada tekanan gesek 2,07MPa yaitu 3 menit 40 detik (220 detik). Waktu gesek pengelasan gesek pada putaran 1000 rpm hanya terjadi pada tekanan gesek 2,07 – 4,14 MPa. Semakin besar tekanan gesek yang diberikan gaya gesek yang terjadi semakin besar dan kuat sehingga waktu gesek menjadi semakin pendek. Pada tekanan gesek 1,38 MPa tidak terjadi fenomena deformasi plastis dan flash selama lebih dari 5 menit sehingga pengelasan dihentikan dan selanjutnya data pengelasan dengan tekanan gesek ini tidak digunakan.

Penampang melintang hasil pengelasan gesek pada dua kondisi pengelasan ditunjukkan oleh Gambar 4. Pada gambar tersebut terlihat jelas adanya 3 daerah yang berbeda secara metalurgi, yaitu: (1) daerah I: daerah sambungan las (interface region- titik C), (2) daerah II: daerah terpengaruh panas (*heat affected zone*- titik B) dan (3) daerah III: daerah tidak terpengaruh panas (*base metal*- titik D). Daerah I merupakan daerah yang seluruhnya terdeformasi plastis dan terjadi pada dua sisi komponen yang disambung. Daerah ini mempunyai butiran terekristalisasi dengan ukuran butir kecil, bahkan paling kecil dibandingkan dengan dua daerah lainnya. Daerah II merupakan daerah dimana butirannya terdeformasi sebagian karena adanya tekanan tempa pada akhir proses las gesek. Ukuran butir daerah ini lebih besar dari ukuran butir daerah I. Apabila waktu gesek meningkat daerah I melebar, tetapi daerah II akan menyempit (Satyhiya, 2003). Daerah III merupakan daerah *base metal* yang tidak terdeformasi sama sekali.



GAMBAR 4. Struktur makro daerah sambungan las pada pengelasan pengelasan gesek: (a) benda uji dengan tekanan tempa tekanan tempa 8,27 MPa dan tekanan gesek 2,76 MPa, (b) benda uji dengan tekanan tempa 6,90MPa dan tekanan gesek 2,07



GAMBAR5. Struktur mikro dari daerah lasan dengan tekanan tempa 8,27 MPa dan tekanan gesek 2,76 MPa: (a) daerah I, (b) daerah II dan (c) daerah III

Pada daerah sambungan lasan teramati adanya porositas (Gambar 4 (a) dan (b) ditandai dengan huruf A). Terbentuknya porositas diduga karena permukaan interface yang menempel secara tidak merata, yang ditunjukkan dengan garis sambungan antar muka tidak lurus namun bergelombang, akibat getaran berlebih pada mesin las sehingga udara atau gas terjebak di dalamnya. Porositas teramati lebih kecil pada pengelasan dengan tekanan tempa dan tekanan gesek yang lebih besar. Pada kondisi tekanan yang lebih besar akan lebih memudahkan pembuangan gas dan kotoran yang terjebak di permukaan gesekan pada waktu terjadi deformasi plastis. Waktu gesek yang panjang diduga dapat memicu terjadinya porositas di daerah lasan karena oksida krom akan lebih mudah terbentuk.

Struktur mikro dari 3 daerah lasan dengan mikroskop optik (Gambar 5). Gambar 5(a) menampilkan struktur mikro daerah I yang berfasa austenik dan memiliki ukuran butir terkecil dibanding daerah lain karena daerah ini

memiliki kecepatan pendinginan yang tertinggi. Bentuk butiran *equiaxed* yang relatif seragam dengan arah orientasi butiran acak. Pada ukuran butir kecil dan batas butir yang mempunyai arah acak cenderung memiliki sifat mekanis *intermediate*. Sedangkan daerah II yang direpresentasikan oleh gambar 5(b) menunjukkan struktur mikro fasa austenit yang berbutir lebih besar dari butiran daerah I dengan tingkat keseragaman ukuran butir yang lebih rendah dari daerah I dan arah orientasi butir bersifat acak. Ukuran butir meningkat karena masukan panas dan kecepatan pendinginan yang rendah. Struktur mikro fasa austenit (gambar 5(c)) terlihat jelas pada logam induk atau *base metal* dengan susunan butirnya besar dan mempunyai arah orientasi yang teratur dan berukuran butir besar sehingga material ini bersifat ulet. Garis-garis sejajar pada butir merupakan orientasi arah kristal penyusun butir yang seragam pada butir yang bersangkutan dan mempunyai arah berbeda pada butir yang lain (Gambar 5(c)).

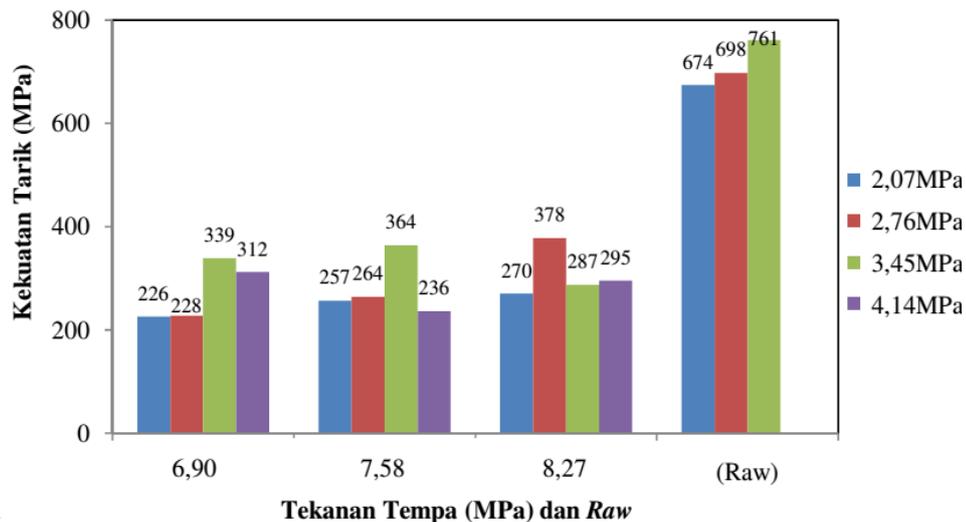
Kekuatan Tarik

Secara umum hasil uji tarik menunjukkan kecenderungan nilai tekanan gesek pada tekanan tempa yang sama dengan nilai kekuatan tarik pengelasan berbanding lurus yaitu bila tekanan gesek bertambah maka kekuatan tarik semakin besar (gambar 6). Hal tersebut ditunjukkan pada spesimen dengan tekanan gesek 2,07 MPa dan 2,76 MPa. Pada benda uji dengan tekanan gesek 3,45MPa diperoleh hasil kekuatan tarik naik kemudian turun, hal yang sama juga terjadi pada tekanan gesek 4,14 MPa. Hal tersebut terjadi karena perbedaan luas penampang patahan yang terjadi karena adanya porositas yang pada penelitian ini belum dapat dihilangkan. Semakin besar atau banyak porositas maka kekuatan tarik akan semakin rendah seperti contoh pada gambar 4 yang menunjukkan bahwa pada tekanan yang lebih rendah memiliki porositas lebih besar, sehingga kekuatan tarik juga akan lebih rendah.

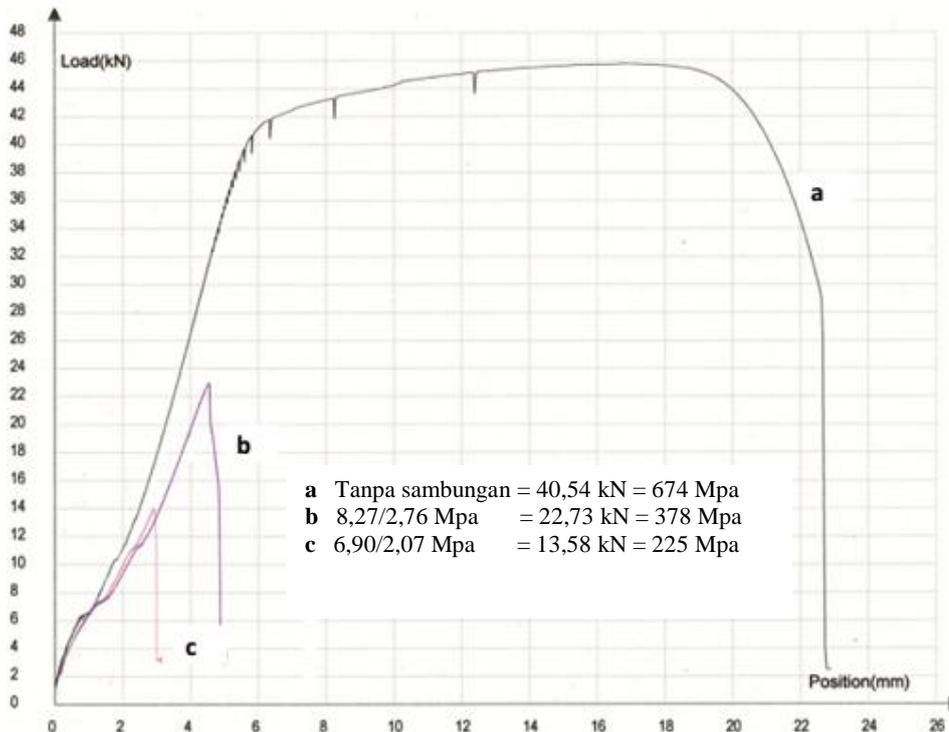
Pengaruh besarnya tekanan tempa terhadap kekuatan tarik lasan secara umum juga berbanding lurus seperti halnya tekanan gesek. Dari gambar 6 didapatkan hasil kekuatan tarik tertinggi pada variasi tekanan tempa 8,27 MPa dengan tekanan gesek 2,76 MPa sebesar 378 MPa dan kekuatan tarik terendah pada tekanan tempa 6,90 MPa dengan tekanan gesek 2,07 MPa sebesar 225,8 MPa. Karena masih adanya porositas yang terbentuk maka secara umum kekuatan tarik hasil pengelasan gesek *stainless steel* 304 dengan variasi tekanan tempa 6,90-8,27MPa dan tekanan gesek 1,38 - 4,14 MPa pada putaran 1000 rpm lebih rendah dari

kekuatan tarik *base material* dari baja tahan karat AISI 304.

Perilaku bahan dengan sambungan las gesek dan *base metal* nya saat menerima tegangan tarik pada pengujian tarik ditunjukkan pada gambar 7. Pada gambar 7 (a) benda uji dari base material menunjukkan perilaku adanya daerah-daerah: (1) daerah linier yang merepresentasikan daerah elastis, titik prof stress dimana terjadi transisi elastis plastis dan daerah non linier yang mewakili daerah plastis-necking-patah. Tipikal grafik ini mengindikasikan bahwa benda uji ini mempunyai sifat ulet. Material ini bersifat ulet karena berdasar hasil pengamatan struktur mikro material ini berfase austenit yang berstruktur kristal *face-centre cubic* (FCC) dengan ukuran butir yang besar. Sedangkan pada gambar 7 (b) dan (c) terlihat bahwa perilaku benda uji dengan sambungan las hanya menunjukkan satu daerah yaitu daerah elastis dan langsung patah sebelum mencapai daerah transisi elastis-plastis. Hal ini mengindikasikan bahwa benda uji mengalami patah getas. Patah getas dapat terjadi disebabkan oleh beberapa hal karena beban fatik, patah karena adanya konsentrasi tegangan atau karena jenis bahannya sendiri karena ikatan ion penyusunnya. Dalam hal ini, kemungkinan besar karena adanya porositas yang sebagai konsentrasi tegangan yang menyebabkan sambungan ini mempunyai perilaku patah getas. Garis non linear pada awal pengujian pada semua benda uji menunjukkan proses alignment pada pengujian tarik.



GAMBAR 6. Hubungan antara pemberian tekanan tempa 6,90 - 8,27 MPa pada kekuatan gesek 2,07 - 4,14MPa terhadap kekuatan tarik maksimal pada pengelasan gesek *stainless steel* 304

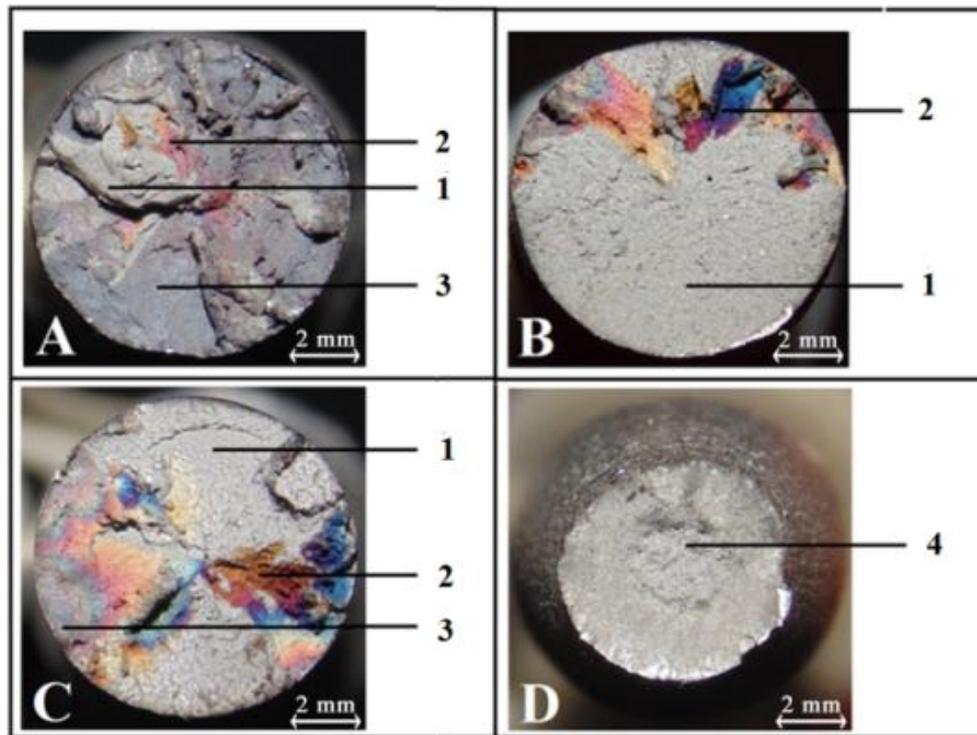


GAMBAR7 . Hasil uji tarik *stainless steel* 304 tanpa pengelasan gesek

Penampang patahan

Hasil foto makro dari penampang patahan benda uji ditunjukkan oleh gambar 8. Seluruh penampang patahan dari benda uji dengan sambungan las gesek (gambar 8 (A), (B) dan (C)) menunjukkan adanya daerah yang berwarna-warni. Warna pada permukaan patah ini mengindikasikan adanya udara yang masih terjebak disambungan dan berinteraksi dengan logam pada suhu pengelasan gesek yang tidak homogen membentuk oksida yang berbeda sehingga terlihat berwarna-warni. Getaran dapat mengakibatkan adanya jeda penempelan interface di beberapa bagian di permukaan gesek sehingga suhu oksidasi menjadi tidak seragam. Daerah yang berwarna abu-abu terang (warna logam) adalah daerah yang berdeformasi plastis dan menyambung sempurna (angka 1) sehingga tidak terjadi oksida (warna-warni) dan luasan ini menanggung beban tarik sampai dengan patah.

Oleh karena itu dari gambar 8 (A), (B) dan (C) terlihat bahwa bila luasan daerah ini lebih besar maka kekuatannya akan lebih tinggi. Daerah yang berwarna-warni (angka 2 dan 3) adalah daerah yang tidak menyambung sempurna dan mengalami oksidasi sehingga menjadi awal timbulnya porositas. Dengan waktu gesek yang lama (>30 detik) kemungkinan oksidasi permukaan dan porositas semakin besar jika dibandingkan dengan penelitian terdahulu (Sahin 2007 dan Sathiya dkk, 2003). Gambar 8(D) menunjukkan permukaan patahan *stainless steel* 304 tanpa pengelasan gesek dimana morfologi patahan berciri serabut (angka 4) yang mengindikasikan jenis patahan ulet. Secara umum gambar 8 menjelaskan bahwa benda uji dengan porositas lebih besar yang ditandai dengan banyaknya bagian permukaan patahan yang berwarna-warni menghasilkan kekuatan tarik lebih rendah dan sebaliknya.



GAMBAR 8. Penampang patah spesimen hasil uji tarik dengan kekuatan tarik (A) terendah, (B) tinggi, (C) sedang, (D) *base metal* (tanpa sambungan)

KESIMPULAN

Penelitian ini dilakukan untuk menginvestigasi sifat metalurgi dan sifat mekanis sambungan las gesek pada baja tahan karat austenitik 304. Hasil penelitian dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Struktur mikro daerah las berfasa austenit berbutir kecil, daerah HAZ berfasa austenit berbutir lebih besar dan daerah *base metal* berbutir besar dengan fasa austenit. Cacat las berupa porositas teramati pada seluruh hasil pengelasan.
2. Semakin besar tekanan gesek yang diberikan maka waktu gesek akan semakin cepat. Waktu gesek rata-rata terpendek pada tekanan gesek 4,14 MPa yaitu 39 detik dan waktu gesek rata-rata terpanjang pada tekanan gesek 2,07 MPa yaitu 220 detik.
3. Kekuatan tarik pengelasan gesek lebih kecil dari kekuatan tarik *stainless steel* tanpa sambungan (*raw*) dimana kekuatan tarik akan

menurun seiring dengan penurunan tekanan tempa. Kekuatan tarik tertinggi pada variasi tekanan tempa 8,27 dengan tekanan sebesar 378 MPa dan kekuatan tarik terendah pada tekanan tempa 6,58 MPa sebesar 225,8 MPa.

4. Hasil las gesek *stainless steel* 304 memiliki mode patahan getas.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM Standards, (2003). *Iron and steel Products*. Annual Book of ASTM Standards Section I, volume 01.02.
- Sahin, M, dan Akata H.E. Joining with friction welding of plastically deformed steel. *J Mater Process Technol* 2003;142(1):239–46.
- Sahin, M., Evaluation of the joint-interface properties of austenitic-stainless steels (AISI 304) joined by friction welding, *Materials and Design* 28 (2007) 2244–2250

Sathiya, P. , Aravindan, S. , Noorul Haq, A. ,
Mechanical and metallurgical
properties of friction welded AISI 304
austenitic stainless steel, *International
Journal for Advanced Manuf acture
Technology*, (2005) 26: 505–511

Siddiq, (2013).Pengaruh waktu gesek terhadap
kekuatan tarik dan kekerasan mikro
lasan pada pengelasan gesek (friction
welding) bahan stainless steel, Skripsi,
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas
Teknik, Universitas Muhammadiyah
Yogyakarta.

PENULIS:

Aris Widyo Nugroho✉, Totok Suwanda

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik,
Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Jalan
Lingkar Selatan, Bantul 55183, Yogyakarta

✉Email:nugrohoaris@gmail.com